

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## **Optimalizace výroby statorového kola**

The optimization of Stator Wheel Production

Student:

Bc. Jaroslav Bříšťela

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jaroslav Bříšťela**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Téma: **Optimalizace výroby statorového kola**  
**The Optimization of Stator Wheel Production**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Popis současného stavu technologického postupu výroby.
3. Návrh nového technologického postupu.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

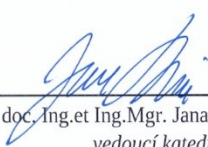
BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.  
BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.  
BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.  
ERDL, BERT P. *High-speed machinig*. Deaborn, Michigan : Society of Manufacturing Engineering, 2003. ISBN 0-87263-649-6.  
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. 1. vyd.* Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Pagáč, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

© VŠB-TUO, Fakulta strojní

---

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech získaných od společnosti MESIT machining s.r.o., Uherské Hradiště, společnost s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě 21. 5. 2018



.....  
podpis studenta

---

© VŠB-TUO, Fakulta strojní

---

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21. 5. 2018



Jméno a příjmení autora práce: Bc. Jaroslav Bříšťela

Adresa trvalého pobytu autora práce: Staré Město, Seifertova 1554, 68603

---

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BŘÍŠTĚLA, J. *Optimalizace výroby statorového kola: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, 58 s. Vedoucí práce: Pagáč, M.

Diplomová práce se zabývá optimalizací původní technologie výroby statorového kola. V úvodní části práce jsou popsány zákonitosti obrábění výchozího materiálu statorového kola, dále zásady provádění kontroly ve výrobním procesu uplatňované ve firmě MESIT machining, s.r.o., v následných částech je pak popsán úvodní stav technologie výroby, zjištěné nedostatky této výrobní varianty a podniknuté jednotlivé kroky k zefektivnění způsobu výroby včetně výpisu technologického postupu, použitých nástrojů a zařízení. Hlavní náplní diplomové práce je stanovení návrhu nejvhodnějšího způsobu výroby statorového kola v podmínkách společnosti MESIT machining, s.r.o.

## ANNOTATION OF MASTER THE THESIS

BŘÍŠTĚLA, J. *The optimization of Stator Wheel production: Master thesis*. Ostrava: VŠB -Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering metrology, 2018, 58 s. Thesis head: Pagáč, M.

The diploma thesis deals with the optimization of the stator wheel production technology. The introductory part of the thesis describes the rules of machining of the stator wheel starting material, the principles of control in the production process, the subsequent parts describe the initial state of the production technology and the individual steps taken to streamline the production method, including the listing of the technological process, used tools and equipment. The main aim of the diploma thesis is the determination of the most suitable method of production of the stator wheel in the conditions of the company MESIT machining, s.r.o.

---



## OBSAH

Seznam použitých značek a symbolů .....	7
Úvod.....	8
1 Popis současného stavu.....	9
1.1 Cíle diplomové práce .....	9
1.2 Obrobitelnost hliníku a jeho slitin .....	9
1.3 Metodika kontroly jakosti .....	11
1.4 Charakteristika dílce Stator Blank 2 Milled, č.v. B83000022 .....	13
1.5 Základní polotovar .....	15
1.6 Problematika výroby dílce Stator Blank 2 Milled .....	16
2 Návrh nového řešení .....	23
2.1 Úvodní technologický postup výroby Stator Blank 2 Milled .....	23
2.2 Detailní popis způsobu stávající výroby dílu Stator Blank 2 Milled .....	26
2.2.1 Výroba polotovaru .....	26
2.2.2 Výroba dílce Stator Blank 2 Milled .....	29
2.2.3 Dokončení procesu výroby dílce Stator Blank 2 Milled .....	32
2.3 Vyhodnocení stávajícího postupu výroby dílce Stator Blank 2 Milled .....	32
2.4 Průběh procesu optimalizace postupu výroby dílce Stator Blank 2 Milled.....	33
2.4.1 Jednotlivé podniknuté opatření a zkoušky .....	33
2.4.2 Popis druhého způsobu výroby dílu Stator Blank 2 Milled .....	35
2.4.3 Popis třetího způsobu výroby dílu Stator Blank 2 Milled.....	36
2.4.4 Popis čtvrtého způsobu výroby dílu Stator Blank 2 Milled .....	38
2.4.5 Popis pátého způsobu výroby dílu Stator Blank 2 Milled.....	39
2.4.6 Popis šestého způsobu výroby dílu Stator Blank 2 Milled .....	40
3 Vyhodnocení provedených zkoušek výroby dílu Stator Blank 2 Milled.....	42
4 Technicko-ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení .....	45
4.1 Závěr vyplývající z technicko-ekonomického zhodnocení navrhovaného řešení ....	47
5 Závěr diplomové práce .....	50
Poděkování.....	51
Seznam použité literatury .....	52
Seznam obrázků.....	55
Seznam tabulek .....	57
Seznam příloh .....	58

---

## Seznam použitých značek a symbolů

CNC	Computer Numerical Control – počítačový řídicí systém	[--]
Č.m.	Číslo měřidla	[--]
Č.o.	Číslo operace	[--]
Č.s.	Číslo stroje	[--]
HB	Tvrdost dle Brinella	[--]
HSSCo	Rychlořezná kobaltová ocel	[--]
IT	Toleranční stupeň	[--]
KVO/SVK	Vícestrojová obsluha	[--]
Mk	Krouticí moment	[N.m]
NC	Numerical Control – číslicově ovládané stroje	[--]
P	Výkon motoru	[kW]
Re	Mez kluzu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
TAC	Čas strojní (kdy obrábí stroj)	[min]
TBC	Čas seřizovací	[min]
ÚJ	Útvar jakosti	[--]
ÚVN	Úplné vlastní náklady	[Kč]
ÚVN/ks	Úplné vlastní náklady/ počet kusů	[Kč/ks]
ÚVN/počet zmetků	Úplné vlastní náklady/ počet zmetků	[Kč/ks]
ÚVN/dávka	Úplné vlastní náklady/ dávka	[Kč/dávka]
$a_p$	Hloubka řezu	[mm]
$f_{min}$	Posuv minutový	[ $mm \cdot min^{-1}$ ]
$f_{ot}$	Posuv	[mm]
hl. vř.	Hlavní vřeteno	[--]
m	Hmotnost	[kg]
n	Počet otáček	[ $min^{-1}$ ]

## Úvod

Trvalým trendem ve světě obrábění platí stále se zvyšující tlak na zvýšení kvality, opakovatelnosti, přesnosti a tím potenciálního snížení nákladů na výrobu, což v důsledku vede ke zvyšování zisku (snížování ceny). Hlavně v oblasti automobilového průmyslu, ale také u velkých hlavně nadnárodních společností je vyvíjen neustálý tlak na zvyšování kvality a snižování ceny.

Těchto cílů se dá dosáhnout dvěma způsoby. Prvním z nich jsou technická opatření za použití stávajících technologií. Druhá možnost je masivní investice do modernizace vysoce převratných a produktivních technologií, které jsou schopny díky své pokrokové konstrukci a novým řídicím systémům zajistit současně trvale se zvyšující požadavky zákazníků na dodávanou produkci. Je třeba se řádně zamyslet a udělat potřebné rozbory nad ekonomickou stránkou, protože investice do nových technologií ne vždy přináší očekávané výsledky v tom nejdůležitějším – tj. dosažení krátké návratnosti = větší ziskovosti firmy.

V současné době je kladen enormní tlak na snižování zmetkovitosti, cílem je dosažení 100% kvality. K řešení tohoto úkolu je třeba přistupovat s maximální odpovědností, jelikož někdy stačí velmi malá úprava v postupu, u nástroje atd. a cíl se podaří splnit, ale někdy je výsledek spíše opačný. Tyto úpravy technologie výroby jsou ovšem náročné na spotřebu času a odčerpávají výrobní kapacity, v důsledku snižují výkon výroby (zisk).

V diplomové práci jsem se snažil o zlepšení a optimalizaci technologie obrábění statorového kola. V době zahájení této výroby a produkce dle úvodního způsobu výroby byla zmetkovitost dílců cca 5 % z celkové produkce. Cílem je snížení zmetkovitosti na běžnou úroveň neshodné výroby ve firmě MESIT machining, s.r.o., tedy pod 1 % z celkového objemu výroby dané položky.

---



# 1 Popis současného stavu

## 1.1 Cíle diplomové práce

Cílem diplomové práce je návrh nejvhodnější výrobní technologie statorového kola v podmínkách společnosti MESIT machining, s.r.o.

Řešením budou návrhy změn v technologii obrábění, které zabezpečí splnění všech kvalitativních požadavků a sníží zmetkovitost výroby daného dílce za využití technologie (strojů), které jsou ve společnosti k dispozici.

Pro dosažení těchto cílů diplomové práce bylo potřeba provést:

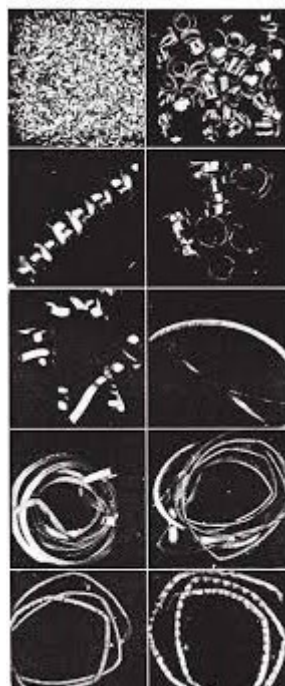
- Vyhodnocení stávajících ekonomických, kvalitativních výsledků;
- Zhodnocení stávajícího stavu technologie obrábění;
- Seznámení se s aktuálním strojním vybavením a výrobními možnostmi;
- Posouzení obrobiteľnosti materiálu daného pro výrobu statorového kola;
- Návrh změn pro obrábění za dodržení všech předepsaných podmínek na přesnost, jakost povrchu a rovnoběžnost ploch;
- Zařazení úprav technologie obrábění v praxi a jejich vyhodnocení;
- Komplexní technicko-ekonomické porovnání původní a nové technologie obrábění.

## 1.2 Obrobiteľnost hliníku a jeho slitin

Pojem obrobiteľnosti v našem případě soustružení hliníkových slitin se skládá z řady vlastností a parametrů. Mezi základní parametry patří požadavek na dodržení přesností obrobku, které jsou ovlivňovány životností nástrojů, řeznou silou, vyžadovanou kvalitou opracovaného povrchu a požadovaným tvarem třísky pro daný způsob obrábění. Obrobiteľnost není závislá pouze na fyzikálních a mechanických vlastnostech ale i na stavu polotovaru užívaného k obrábění, jako například tvrdost, houževnatost a samotná struktura.

Obecně lze říci, že hliníkové slitiny patří ve srovnání s ostatními kovovými konstrukčními materiály mezi ty lépe obrobiteľné. Ve srovnání s ocelmi stejné pevnosti jsou řezné síly u hliníkových slitin výrazně menší. Výrazný rozdíl je u hliníkových slitin mezi obrobiteľností čistého hliníku řady např. 20, kde je obrobiteľnost velmi špatná, kdežto u hliníkových slitin řady 60 je velmi dobrá. Tento rozdíl v obrobiteľnosti spočívá ve struktuře.

Jedním z nejdůležitějších parametrů pro vyhodnocování obrobiteľnosti je tvar třísky. Pro vyhodnocování podle tvaru třísky se používá výlučně vizuálního hodnocení, kdy třísky dělíme podle tvaru do 5 skupin. (viz obr. 1.1)



**Obr. 1.1: Rozdělení třísek podle tvaru**

*Zdroj: [3]*

Hliníkové slitiny dělíme z hlediska obrobiteľnosti do tří skupin. Jedná se o slitiny slévárenské, tvářené a speciálně určené pro obrábění, které se nazývají automatové.

Všeobecně platí, že **slévárenské hliníkové slitiny** obsahují jako hlavní legující prvek měď (Cu), hořčík (Mg) nebo zinek (Zn), jsou dobře obrobiteľné a není nutné při obrábění počítat s nějakými většími problémy. Jejich obrobiteľnost je srovnatelná s tvářenými slitinami. Vliv na případné zhoršení parametrů obrábění u hliníkových slitin může mít vznik lunek (výskyt nespojitostí oxidických vrstev, nekovových vměstků), které vznikají při odlévání materiálu, kdy není dodržena správná technologie přípravy materiálu hliníku před samotným litím. Hliníkové slitiny, které jsou legovány jako hlavním prvkem křemíkem (Si), je nutné obrábět při nižších rychlostech a posunech. Zde vzrůstá opotřebení nástrojů úměrně s obsahem křemíku (Si). Opotřebení nástrojů způsobují tvrdé částice křemíku. Výjimkou jsou slitiny s obsahem křemíku (Si) kolem 12 %, které se vyznačují měkkou strukturou, do které se tvrdé části křemíku (Si) při obrábění zatlačují. V případě tepelného zpracování (vyšší pevnost) dochází ke změně struktury (mění se měkká struktura ve více pevnou,

do níž se tvrdé části křemíku (Si) nezatačují), tím se zvyšuje opotřebení až do stavu poškozování ostrých nástrojů. Typická pro tuto slitinu s vyšším obsahem křemíku (Si) je lámavá tříska.

**Tvářené slitiny** nesou výborné charakteristiky obrábění. Zde je třeba pro dosažení optimálních podmínek u jednotlivých slitin dodržovat parametry obrábění a geometrie řezných nástrojů. U neztvrzovaných slitin se tvoří dlouhá spojitá tříska, která dělá při obrábění problémy s případným poškozováním povrchu, případným zničením (zlomením) nástroje. V průběhu výroby se musí mechanicky ze stroje odstraňovat, a tak dochází ke snižování produktivity práce. Obrobitelnost tvářených slitin se zlepšuje tepelným vytvrzováním. Hliníkové slitiny ve tvrdém stavu dosahují i lepší opracování, výborně se opracovávají. Ve vytvrzeném stavu je tříska obvykle dlouhá a stočená (viz obr. 2), v některých případech se snadno láme.

**Automatové slitiny** jsou legovány prvky s nízkou teplotou tání jako např. olovo (Pb), bismut (Bi), antimon (Sb) a kadmium (Cd). Tyto legující prvky vytváří lepší podmínky pro vznik (tvorbu) drobné lámavé třísky po obrábění. Při správném rozpuštění těchto měkkých částic dochází při zvýšených teplotách na hraně řezného nástroje k tvorbě drobných třísek. Z hlediska opotřebení nástrojů jsou automatové slitiny porovnatelné, a i při vysokých řezných rychlostech, kolem 1000 ot /min je jejich opotřebení poměrně malé. Mezi nejpoužívanější automatové slitiny patří vytvrzované slitiny řady 2024 a 6061, které jsou legované olovem (Pb) a bismutem (Bi). V posledních letech, kdy je ze strany ekologů vyvíjen tlak na snižování nebo úplné zrušení používání olova (Pb) jako legury, je olovo (Pb) nahrazováno cínem (Sn).

*Zdroj: [3]*

### **1.3 Metodika kontroly jakosti**

#### **VÝTAH Z NH – 3502-33 – Zásady, způsob předepisování a provádění kontroly výroby**

Kontrola prvního kusu a kontrola prováděná pracovníkem v průběhu operace není technologickým postupem zvlášť uváděna. Je pravidlem a součástí každé výrobní operace.

##### **Kontrola prvního kusu**

Po každém seřízení či úpravě stroje, úpravě výrobních pomůcek a zařízení, před započetím výroby série, je každý pracovník povinen předložit po vyrobení prvního kusu příslušné

operace zhotovenou součást ke kontrole. Pracovník kontroly provede kontrolu zhotovené součásti v souladu s požadavky technického výkresu a příslušné operace technologického postupu.

### Kontroluje se

- Celkový vzhled a jakost provedení;
- Rozměry zhotovené v příslušné operaci;
- Jakost opracování;
- Rozsah provedené práce;
- Ostatní příkazy uvedené na výkrese nebo v technologickém postupu, vztahující se k provedení operace.

K provedení kontroly jsou použita kontrolní měřidla, zařízení a pomůcky, které jsou součástí pracoviště dílenské kontroly.

Pracovník může zahájit další výrobu součástí jedině po schválení vyrobeného kusu pracovníkem ÚJ (útvary jakosti). (Schválený dílec je uložen po dobu pracovní směny na místě označeném UVOLNĚNÝ DÍLEC !!! – pozn. Ved. ÚJ)

### Kontrola prováděna pracovníkem

- Pracovník zhotovuje součást v souladu s výkresem a technologickým postupem;
- Během provádění operace provádí kontrolu rozměrů dle požadované přesnosti.

**Při obrábění ploch vnějších a vnitřních provádí kontrolu v tomto rozsahu**

**Tab. 1.1: Kontrola při obrábění ploch vnějších**

<b>Přesnost rozměrů</b>	IT 8 až 12	IT 9-10	IT 11-12	Nad IT 12
<b>Měřit</b>	Každý kus	Každý 3. kus	Každý 5. kus	Každý 10. kus

*Zdroj: [5]*

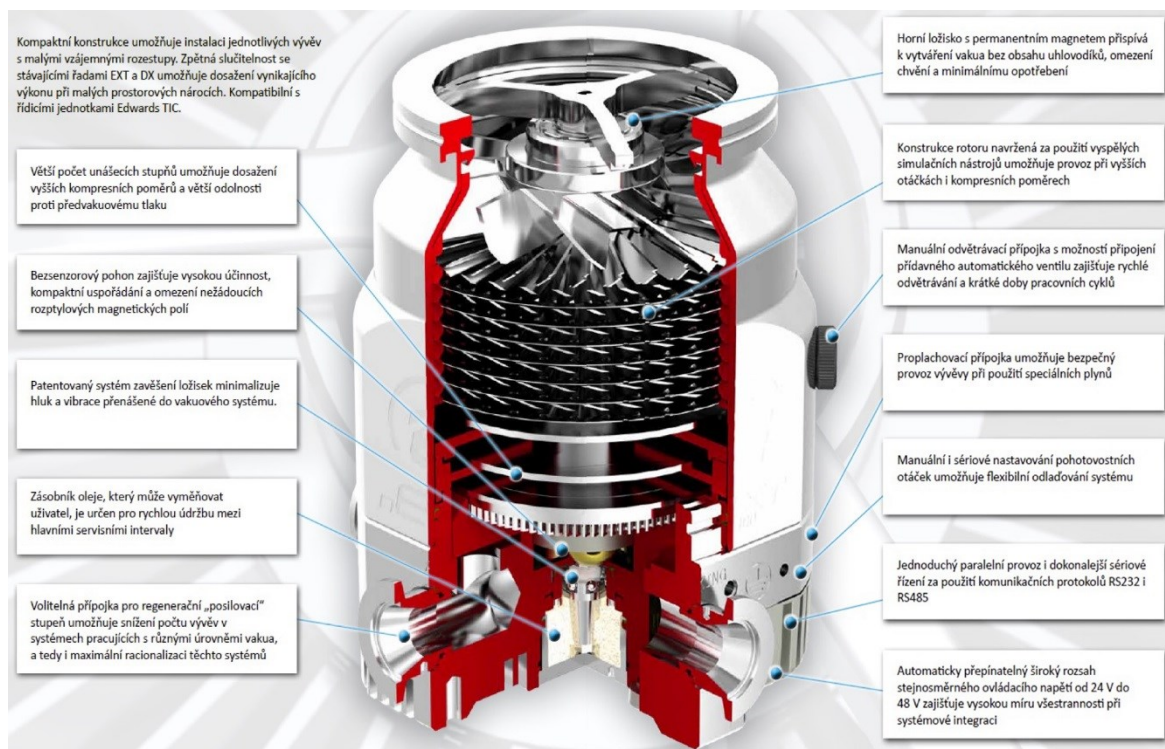
**Při řezání závitů v tomto rozsahu****Tab. 1.2: Kontrola při řezání závitů**

<b>Způsob řezání</b>	Nožem	Závitovými čelistmi	Kruh. čelistmi	Závitníkem
<b>Měřit</b>	Každý kus	Každý kus	Každý 3. kus	Každý 5. kus

*Zdroj: [5]***1.4 Charakteristika dílce Stator Blank 2 Milled, č.v. B83000022**

Obráběný díl je svým charakterem jednodušší plochá rotační součástka tvaru kruhového tenkostěnného kroužku se středovým otvorem ze slitiny hliníku jakosti EN AW-2014, což je slitina používaná k výrobě dílů pro všeobecné účely. Tento dílec není konečným dílem určeným přímo pro následnou montáž do vyšší sestavy, ale slouží jako polotovár k dalšímu obrábění u odběratele, kde se z něho zhotovují rozvodové statorové a rotorové kroužky jako součásti rotačních tzv. turbomolekulárních vakuových vývěv (pump). Tyto statorové a rotorové kroužky slouží k usměrňování proudění plynného média odčerpávaného vakuovou pumpou.

Pro ilustraci použití v sestavě je uveden obrázek s řezem rotační vakuové vývěvy, ve které je oblast zástavby statorových a rotorových kroužků označena zelenou elipsou:



**Obr. 1.2: Sestava vakuová vývěva**

*Zdroj: [5]*

Turbomolekulární vývěvy jsou vyvinuty pro průmyslové aplikace vyžadující vysoký podtlak a rychlost jeho dosažení. Tyto vývěvy pracují na turbínovém principu. Rychle se otáčející rotorové lopatky se otáčejí mezi statorovými lopatkami, čímž se vyvolá řízený proud plynu směrem od sání k výtlaku vývěvy. Aby se vytvořil tento pohyb, dosahují rotory dle výkonu a velikosti zařízení obvodové rychlosti až 60 000 l/min. Dané vývěvy jsou navrženy pro vysoké podtlakové aplikace do tlaku  $1 \cdot 10^{-10}$  hPa (mbar) a pro vysoké čerpací rychlosti nebo průtoky plynů. Plyny se přepravují bez použití jakýchkoliv provozních kapalin. Ve většině případů se v konstrukci těchto zařízení používají speciální keramická ložiska, která umožňují funkci pump zcela bez přítomnosti oleje, a tedy i bez možných zdrojů nečistot, jsou doživotně namazané a jejich životnost je vyšší, než 200 000 provozních hodin. Pohon a řídicí jednotka jsou zcela zabudovány do pláště pumpy, čímž vzniká kompaktní konstrukce turbovakuové vývěvy, která v sobě navíc slučuje nejvyšší možný průtok s nejmenšími možnými rozměry zařízení, které je provozně spolehlivé, bezpečné a uživatelsky přívětivé.

Na obr. 1.3 je znázorněna výsledná součást vyráběná z dílu Stator Blank 2 Milled.



**Obr. 1.3: Statorové kolo**

*Zdroj: [5]*

## **1.5 Základní polotovar**

Polotovar statorového kola je z hliníkové slitiny, pro jeho výrobu je konkrétně používána lisovaná kruhová tyč z jakosti materiálu dle EN AW 2014 T.6511.

Vlastnosti materiálu EN AW 2014 T.6511:

- Patří do skupiny 2.... – slitina AlCu;
- Stav T6511 = jedná se o stav po rozpuštěném žíhání a umělém stárnutí (zahřátí na 160 °C). Výdrž na teplotě je závislá na velikosti dílu, cca od 2 do 8 hodin a potom následuje chlazení na vzduchu.

*Zdroj: [6]*



**Složení a základní parametry hliníku EN AW 2014****Tab. 1.3: Vlastnosti a chemické složení EN AW 2014 T.6511 (%)**

<b>Materiál</b>		<b>Si</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Ti</b>	<b>Mg</b>
EN AW 2014	min max	0,5 – 1,2	0,7	3,9 -5,0	0,4 – 1,2	0,25	0,15	0,2 – 0,5

Zdroj: [6]

**Mechanické vlastnosti**

Zdroj: [7]

- Mez pevnosti v tahu  $R_m$  415 [Mpa];
- Mez pevnosti kluzu  $R_p 0,2$  370 [Mpa];
- Tažnost  $A_{50}$  5 [%];
- Tvrdost dle Brinella HBW 140 [N].

**Použití EN AW 2014 T.6511**

Slitina, která obvykle obsahuje mezi 4,0 a 5,0 % mědi. Tvoří krátké třísky, je tak vhodná k opracování. Má vysokou pevnost a vlastnosti podobné jako EN AW-2011 a EN AW-2007, je tvrdší než 2011. Tradičně se využívá hlavně ve zbrojním, automobilovém a leteckém průmyslu. A v neposlední řadě ve strojírenství. Je předmětem úpravy RoHS.

Podmínečná odolnost proti korozi. Špatná svařitelnost. Střední mez únavy. Dobrá tvářitelnost. Standartní dekorativní a eloxovatelná kvalita.

Úplný přehled mechanických vlastností je uveden v příloze.

**1.6 Problematika výroby dílce Stator Blank 2 Milled**

Díl Stator Blank 2 Milled, č. v. B83000022 je tvarově jednoduchý, avšak vzhledem k hodně tenké stěně při velkém vnějším průměru kroužku, celkem malém průměru středového otvoru a k některým výkresovým tolerancím, je jeho výroba značně náročná.



**Obr. 1.4: Polotovár statorového kola**

*Zdroj: [5]*

Jeho výroba je možná na soustružnickém stroji. Ve strojovém parku společnosti MESIT machining, s.r.o. je cca 30 CNC strojů, z nichž bylo nutné vybrat stroje, na kterých je posuzovaný díl vyrobiteľný.

#### **Strojní vybavení firmy MESIT machining, s.r.o.**

MESIT machining, spol. s r.o., Uherské Hradiště je výrobní strojírenskou společností zaměřenou na zakázkovou výrobu přesných obráběných mechanických součástí a jednoduchých sestav pro externí zákazníky.

Hlavním technologickým vybavením firmy jsou CNC řízené obráběcí stroje, které umožňují výrobu frézovaných dílců skříňového nebo plochého charakteru v přesnostech od IT6 a soustružených dílů v přesnostech také od IT6. Mezi další technologické zařízení patří brusky, jedna z nich je CNC stroj pro broušení nakulato včetně možnosti vnitřního broušení, dále pak několik klasických brusek, na kterých se provádí broušení na plocho, na kulato a bezhrotě. Dále je ve firmě možné provádět soustružnické práce na klasických a revolverových soustruzích, frézovací operace na univerzálních frézkách doplněných

o digitální odměřování. Lze také vyrábět ozubená kola s malými moduly, provádět zámečnické práce na strojních vrtačkách, závitořezech a také ruční dokončovací operace včetně montáže jednoduchých sestav.

V případě požadavků zákazníků na zajištění povrchové ochrany dílců či jejich tepelného zpracování je možno tyto operace zajistit kooperačně u smluvních partnerů.

**Tab. 1.4: Výpis CNC strojního vybavení společnosti**

<i>Stroj</i>	<i>Rok pořízení</i>	<i>Počet strojů</i>
Revolverový soustruh Gildemeister CTX 420	2003	1
Revolverový soustruh Gildemeister CTX beta 800	2010-2015	3
Revolverový soustruh Gildemeister CTX alpha 320	2011	1
2 vřetenový revolverový soustruh Nakamura WT-150	2014-2016	2
2 vřetenový revolverový soustruh Miyano BHA-42DHY3	2017	1
2 vřetenový revolverový soustruh Miyano BNA-42S2	2017	1
Revolverový soustruh HAAS SL 30	2001-2003	3
Revolverový soustruh HAAS ST 20	2011	1
Revolverový soustruh HAAS ST 30	2015	1
Revolverový soustruh SPRY 40	1994-1997	2
5 osé vertikální frézovací centrum Hermle C30 UP	2007	1
5 osé vertikální frézovací centrum Hermle C22	2013	1
5 osé vertikální frézovací centrum Hermle C600	2005	1

4 osé horizontální frézovací centrum Matsuura H.Plus-405	2006-2008	2
4 osé horizontální frézovací centrum Heckert CWK	2002	1
4 osé horizontální frézovací centrum MCFH 40	1990	4
3 osé vertikální frézovací centrum DMP 60V	2005	1
3 osé vertikální frézovací centrum HAAS Smini	2013	1
3 osé vertikální frézovací centrum HAAS VF 2	2004-2012	4
3 osé vertikální frézovací centrum HAAS VF 3	2003	1
3 osé vertikální frézovací centrum HAAS VF 4	2002	1
Vrtačko-frézka Picomax 50, 51	1981-1990	2
Bruska na kulato Studer S33	2006	1

Zdroj: [5]

Z uvedených strojů lze pro výrobu dílce Stator Blank 2 Milled z hlediska koncepce, rozměrů, dosahované přesnosti a disponibilních kapacitních možností použít revolverové soustruhy HAAS SL 30 nebo Gildemeister CTX beta 800.

Základní technické údaje k strojům vhodným k výrobě posuzovaného dílu:

#### **HAAS SL 30 – univerzální CNC soustruh (výrobce HAAS, USA)**

Zdroj: [10]

- max.  $\varnothing$  obrobku 250 mm;
- průchozí otvor vřetena  $\varnothing 68$  mm;
- max. délka obrobku 800 mm;
- přesnost IT 7.



**Obr. 1.5: HAAS SL 30 – univerzální CNC soustruh**

*Zdroj: [10]*

**GILDEMEISTER CTX beta 800 – univerzální CNC soustruh (výrobce Gildemeister, SRN)**

*Zdroj: [9]*

- max.  $\varnothing$  obrobku 200 mm;
- průchozí otvor vřetena  $\varnothing 65$  mm;
- max. délka obrobku 600 mm;
- přesnost IT 6-7.



**Obr. 1.6: GILDEMEISTER CTX beta 800 – univerzální CNC soustruh**

*Zdroj: [9]*

Hlavními požadavky na dodávaný stav dílce je dodržení předepsaných tolerancí vnějšího průměru kroužku, který slouží k fixaci hotových usměrňovacích statorových kroužků v zástavbových klecích vakuové pumpy, dále je pro bezhlučný provoz pump velmi důležitá rovinnost čelních ploch a v neposlední řadě je pak nutno dodržet maximální povolenou drsnost povrchu. Jako jedním z největších problémů se ukázalo zbytkové vnitřní napětí ve výchozím materiálu, které značně zkomplikovalo hlavně úvodní výrobní dávky.

Již od návrhu technologie výroby dílu Stator Blank 2 Milled, dle kterého byla provedena kalkulace jeho výroby a celý následný proces nabídkového a poptávkového řízení, se předpokládala výroba na univerzálních revolverových soustružnických centrech, kterými je firma MESIT machining, s. r. o. vybavena. Po zkušenostech z jiných předchozích výrob dílů typu tenký kroužek byl jako výchozí materiál zvolen přířez z kruhové tyče, ze kterého se postupným obráběním a upichováním obrábí několik dílů při jednom upnutí a tím i s jedním přídavkem materiálu na upínání. Pro daný díl byl stanoven jako nejvhodnější výchozí polotovar přířez z hliníkové kruhové tyče průměru 140 mm o délce 122 mm.

Takovéto přířezy se nakupují od dodavatele již nařezané s požadavkem dodržení kolmého řezu z důvodu bezproblémového upnutí a omezení házení polotovaru při obrábění. Ve výrobě se z daného přířezu nejprve zhotoví polotovar, ze kterého se pak v následné operaci zhotoví tvar dílů a ty se pak upichují, čímž se vyrobí jednotlivé dílce, ze kterých se poté odstraněním ostří u otvoru vzniklého po úpichu v následné operaci dokončí výroba daných výrobků Stator Blank 2 Milled. Takovýmto způsobem byla odzkoušena výroba uvedeného dílce a ukázalo se, že největším problémem je úkon upichování, který je díky velké tloušťce stěny hodně hluboký. Na povrchu upichovaného čela se nedosahovalo požadované drsnosti, nebylo opakovaně zajištěno dodržování tolerance rovinnosti, prodlužoval se čas výroby a také vyvstal problém s odebíráním upíchnutých dílů. Proto bylo potřeba dále se daným výrobním procesem zabývat s cílem doladění a optimalizace této výroby, aby se tato zefektivnila a také se snížila zmetkovitost.



## 2 Návrh nového řešení

### 2.1 Úvodní technologický postup výroby Stator Blank 2 Milled

V úvodním období se statorové kolo vyrábělo dle následujícího technologického postupu. Prakticky identický technologický postup byl navržen již při nabídkovém řízení této výroby. (Tab. 2.1)

Vzhledem k úvodní výrobě zjištěné vysoké zmetkovitosti a výhledu velkosériové výroby byl tento technologický postup dále nevýhodný, a proto bylo potřeba hledat nové možnosti způsobu jeho výroby a optimalizace technologických parametrů.

**Obr. 2.1: Úvodní list původního technologického postupu výroby statorového kola**

TECHNOLOGICKÝ POSTUP (Původní)							Listů	List
							3	1
Sestava			č. sestavy		č. výkresu BRI0022-02			
Výrobek Statorové kolo					Série		K/výr	Počet kusů
								1
Pos.	ks	Hmotnost	Rozměry polotovaru	Jakost materiálu	ČSN	Kč		
	1	3,92 Kg	Ø140 x 122	EN AW 2014	421401			

*Zdroj: [5]*

TBC -- čas seřizovací

TAC --čas strojní

**Tab. 2.1: Rámcový výpis z úvodního technologického postupu výroby statorového kola**

Č.o.	Pracoviště, popis práce	Celkový čas [min]	
		TBC	TAC
010	<b>Práce při přemísťování zboží</b> Vychystat materiál Ø140, AW – 2014T6511-délka 122 mm.	0,0	1
020	<b>Soustruh HAAS</b> Soustružit součást dle programu č. 09001 zarovnat čelo na celkovou délku 121 soustružit Ø 136 v dl. 20 mm soustružit otvor Ø 53 do půlky srazit ostří  Polotovar pro 7 ks	60,00	0,40
030	<b>Soustruh HAAS</b> Soustružit součást dle programu č. 09002 upnout do vytočených čelistí za Ø 136 zarovnat čelo na celkovou délku 120 mm soustružit Ø 136 v délce 100 mm (po čelisti) soustružit otvor Ø 53 do půlky srazit ostří  Polotovar pro 7 ks	60,00	0,42
040	<b>Soustruh HAAS</b> Soustružit součást dle programu č. 09003 upnout do vytočených čelistí za vnější Ø v délce 15-20 mm soustružit hotově – 7 ks z polotovaru otvor Ø 55 ±0,1 zhotovit v toleranci Ø 55,5 ±0,05	80,00	6,0
050	<b>Soustruh hrotový univerzální</b> Upnout do navařených čelistí vytočených po celém obvodu za vnější průměr. srazit ostří v otvoru	30,00	0,80
060	<b>Kontrola koneč. dle NH 3502-33</b> Vizuální kontrola čistoty kusu, vad opracování a správnosti balení. Díl musí být čistý a bez jakéhokoliv poškození!	0,0	0,0

Zdroj: [5]

Jednotlivé programové listy jsou uvedeny v příloze: G-č.09001, H-č.09002, I-č. 09003

## Kontrolní plán

List1

Prototyp ☐ Předsérie ☐ Série ☒ Proces ☐

MESIT machining s.r.o.

### KONTROLNÍ PLÁN

Kontrolní plán č. <b>B83000022/A</b>		Vydání 1	Vydal/podpis/kontakt Uhříček		
Číslo dílu/Proces <b>B83000022/A</b>		Změna č. 0	Tým Uhříček, Kaplan, Ing. Daňhel		
Název dílu <b>MILLED STATOR BLANK</b>		Datum vydání 6.2.2017	Schváleno ÚJ 6.2.2017		

Číslo operace	Rozměr	Měřidlo	Perioda měření	Měření provádí	Pozn.
<b>všechny</b> Pracoviště díl. kontroly	Kontrola 1.kusu , všechny roz.v dané operaci, viz níže	příslušící k danému rozměru a operaci, viz.níže	1.díl seřízení, 1.díl směny	Kontrola ÚJ	Záznam o provedení do T.P. !
<b>U VŠECH OPERACÍ JE ZJIŠTĚNÝ NESHODNÝ DÍL OZNAČEN A ULOŽEN ODDĚLENĚ NA URČENÉ MÍSTO A JE PROVEDENA KOREKCE ROZMĚRU !</b>					
10 Vychystat	φ 140 , 122 + 1 AWW 2014T6511	Posuvka 300	každý 10.díl	obsluha	
20 HAAS SL 30	121 ± 0,3 φ 136 ± 0,3 20 ± 0,2 φ 53 ± 0,3 60,5 + 0,3	Posuvka dig. 150	každý 10.díl		tech.rozm. tech.rozm. tech.rozm. tech.rozm. tech.rozm.
30 HAAS SL 30	120 ± 0,3 φ 136 ± 0,3 100 + 0,3 φ 53 ± 0,3 60,5 + 0,3	Posuvka dig. 150	každý 10.díl	obsluha	tech.rozm. tech.rozm. tech.rozm. tech.rozm. tech.rozm.
40 HAAS SL 30	φ 135 ± 0,05 φ 55 ± 0,05	Mikrometr 125 - 150 Posuvka dig. 150	každý 10.díl každý 10.díl	obsluha obsluha	tech.rozm. tech.rozm.
	2 ± 0,05 0,1 max.	Uchylkoměr dig. 0 - 50	každý 10.díl		
	Ra 1,6 max.	Drsnoměr Mitutoyo Surf test SJ-301 <b><u>Nepoškodit díly !!!</u></b> <b><u>Čištění dle pokynů v tech. postupu !!</u></b>	každý 20.díl	obsluha + ÚJ	
50 Soustruh univ. S	ojetí otvoru	vizuální kontrola <b><u>nepoškozené díly !!!</u></b> <b><u>Čištění dle pokynů v tech. postupu !!</u></b>	každý díl	obsluha	
60 konečná kontrola	Konečná kontrola vizuální	čistota dílů , nepoškozené díly , osvědčení o jakosti , kompletnost a správnost balení		ÚJ	doprovodné dokumenty !!
			č.	B83000022/A	Změna
			0		

Stránka 1

Obr. 2.2: Kontrolní plán původní

Zdroj: [5]

## **2.2 Detailní popis způsobu stávající výroby dílu Stator Blank 2 Milled**

Výchozím materiálem je tyč kruhová hliníková, dodávaná přímo dodavatelem materiálu jako přířez – rozměr  $\varnothing 140 \times 122$ , jakost EN AW-2014 T6511.

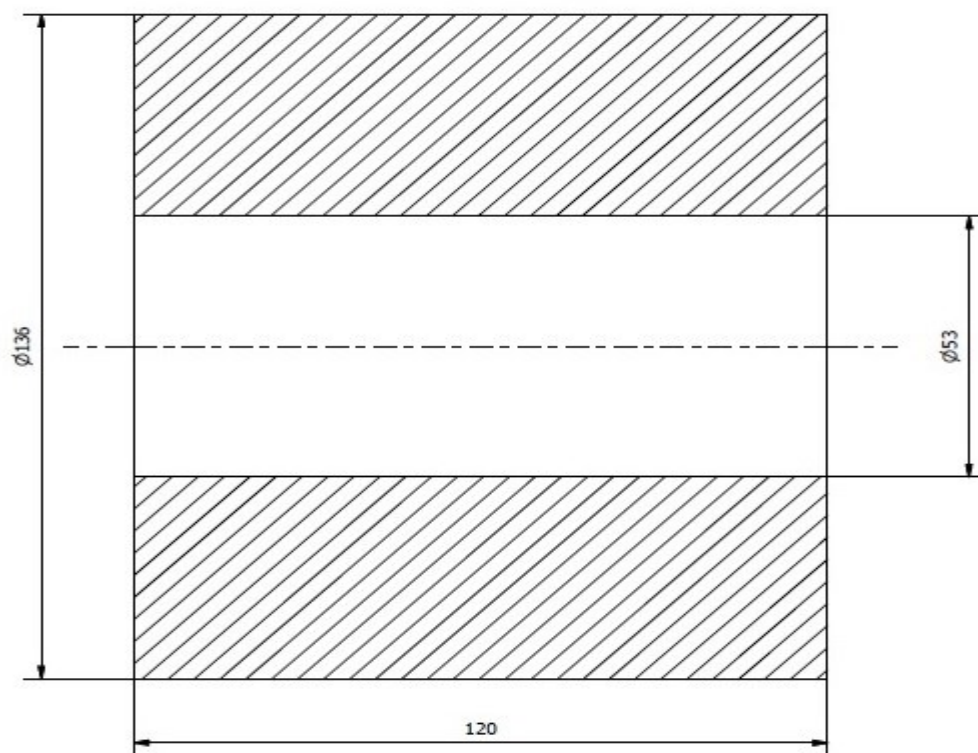
### **2.2.1 Výroba polotovaru**

Prvními dvěma výrobními operacemi je soustružení polotovaru používaného dál pro následné obrábění, které nebylo nutné během optimalizace výroby měnit – tvarově jde o silnostěnnou trubku s vnějším průměrem 136 mm, vnitřním průměrem 53 mm a délkou 120 mm. Tyto operace se provádí na CNC soustruhu.

V první operaci se upne přířez  $\varnothing 140 \times 122$  do tříčelistových tvrdých čelistí s dotlačením na čelo a obrobí se jedna polovina dílu tak, že se zarovná čelo na délku 121 mm, osoustruží se vnější  $\varnothing 136$  mm v délce 20 mm, vyvrtá a dosoustruží se otvor  $\varnothing 53$  mm do hloubky 60 mm a srazí se hrana u otvoru.

V druhé operaci se částečně obrobený přířez upne do tříčelistového sklíčidla do čelistí upravených pro upínání za průměr 136 mm, zarovná se čelo na celkovou délku 120 mm, osoustruží se zbývající část  $\varnothing 136$  mm v délce 100 mm, dovrtá a dosoustruží se průchozí otvor  $\varnothing 53$  mm a opět se srazí hrana u otvoru.

Tvar osoustruženého polotovaru po prvních 2 operacích je uveden na obrázku 2.3.

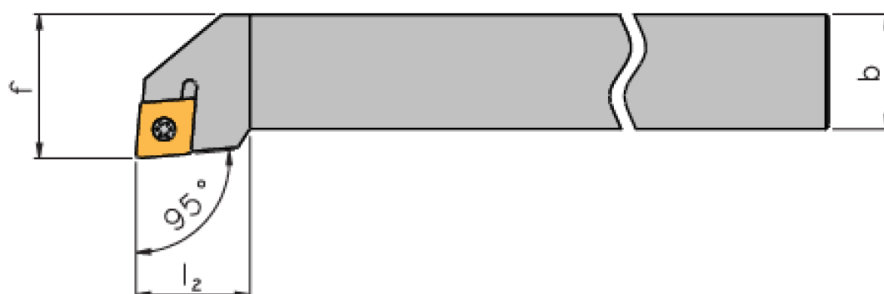


Obr. 2.3: Náskres polotovaru statorového kola po prvních 2 operacích

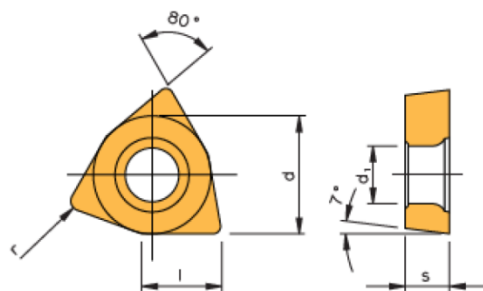
Zdroj: [5]

Použité nástroje:

- Soustružení čela a povrchu;



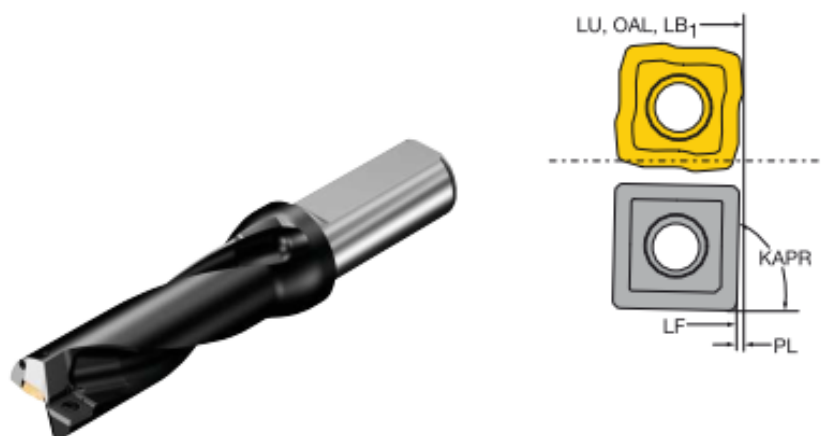
Obr. 2.4: Nástrojový držák se šroubovým upínáním destičky SWLC, výrobce Arno



**Obr. 2.5: Vyměnitelná břitová destička Arno R0,4 trigon – WCGT 06T304FN ACB AK10**

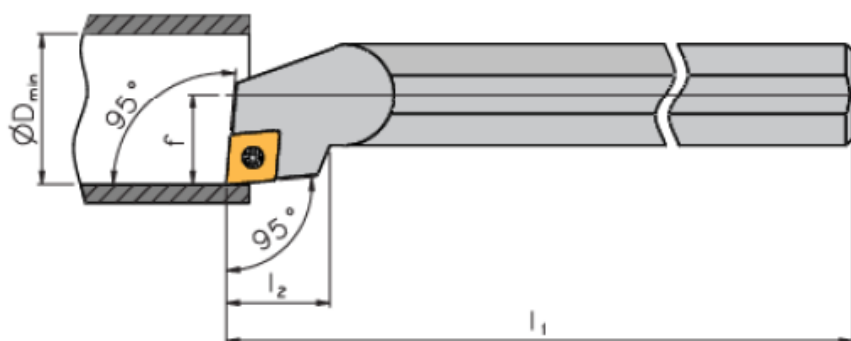
*Zdroj: [11]*

- Zhotovení otvoru  $\varnothing 53$  mm;



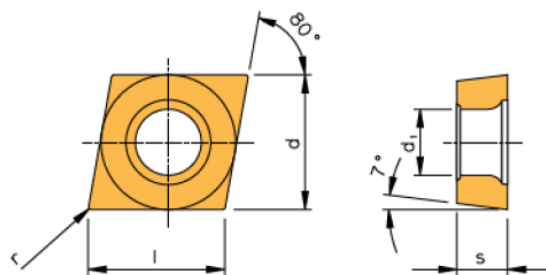
**Obr. 2.6: Vrták Sandvik  $\varnothing 50$  mm s VBD a středovým chlazením s vyměnitelnými břitovými destičkami CoroDrill 880**

*Zdroj: [12]*



**Obr. 2.7: Nástrojový držák se šroubovým upínáním destičky S SCLC, výrobce Arno**

*Zdroj: [11]*



**Obr. 2.8: Vyměnitelná břitová destička Arno – CCGT 120404FN ACB AK20**

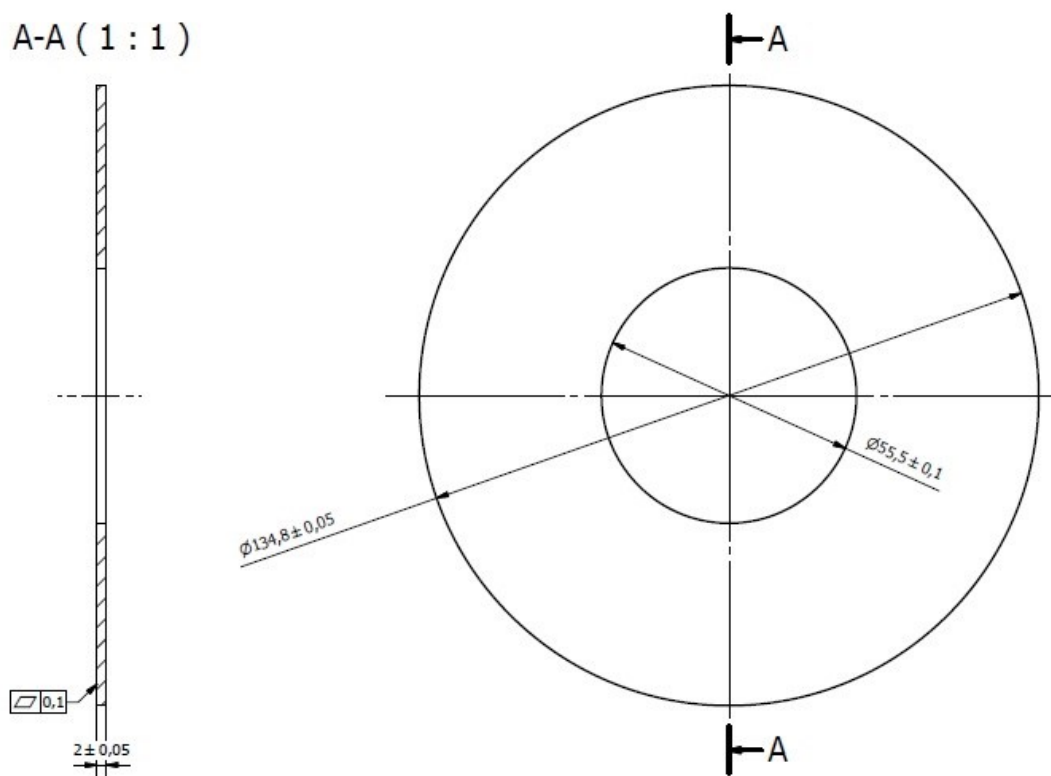
*Zdroj: [11]*

### 2.2.2 Výroba dílce Stator Blank 2 Milled

Z polotovaru zhotoveného v prvních dvou operacích se následně v další soustružnické operaci na CNC soustruhu vyrábí rozměrově hotový díl Stator Blank 2 Milled dle výkresu č. v. B83000022/A. Při této operaci se polotovar upíná do tříčelistového sklíčidla do čelistí upravených pro upínání za průměr 136 mm v délce 15 ÷ 20 mm a opakováním výrobního cyklu, skládajícího se ze zarovnání čela, osoustružení vnějšího průměru  $134,8 \pm 0,05$  mm, zhotovením otvoru  $\varnothing 55,5 \pm 0,1$  mm a upíchnutím hotově na délku  $2 \pm 0,05$  mm, se z něho postupně vyrobí dílce Stator Blank 2 Milled.



Obrázek tohoto stavu je patrný z obrázku 2.9.

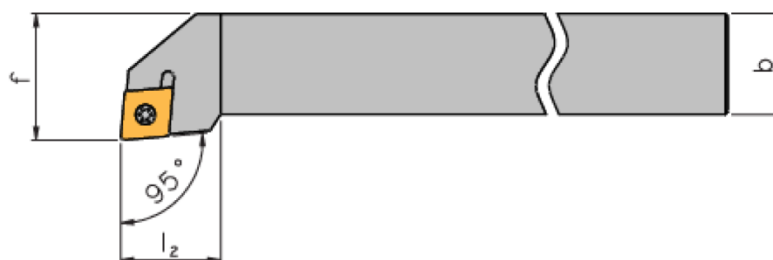


Obr. 2.9: Nákres dílce Stator Blank 2 Milled

Zdroj: [5]

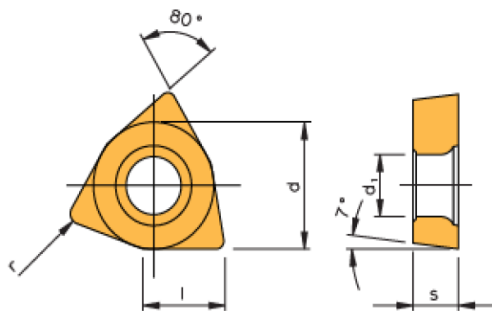
#### Použité nástroje:

- Soustružení čela a povrchu;



Obr. 2.10: Nástrojový držák se šroubovým upínáním destičky SWLC, výrobce Arno

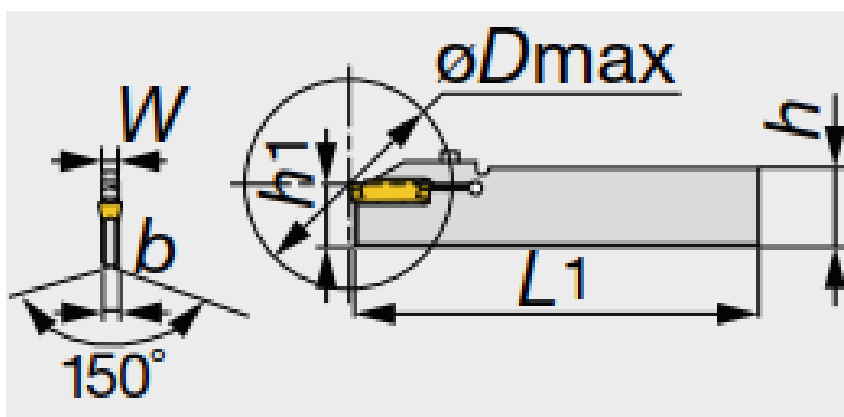
Zdroj: [11]



**Obr. 2.11: Vyměnitelná břitová destička Arno R0,4 trigon – WCGT 06T302FN ALU AK20**

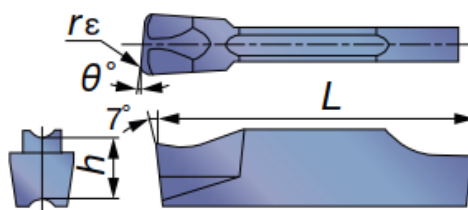
*Zdroj: [11]*

- Upichování na tloušťku  $2 \pm 0,05$ ;



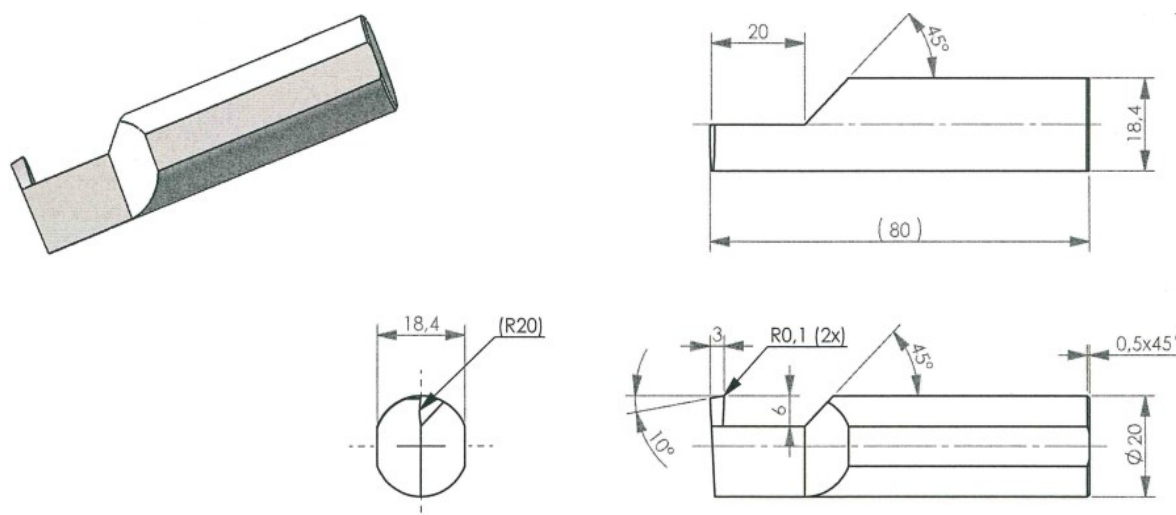
**Obr. 2.12: Upichovací planžeta pro hluboké upichování CGP32 4D, výrobce Tungaloy**

*Zdroj: [13]*



**Obr. 2.13: Vyměnitelná břitová destička Tungaloy – SGS4 030 AH725**

*Zdroj: [14]*



**Obr. 2.14: Vnitřní radecový nástroj pro konečné upíchnutí a zachycení upíchnutého dílu**

*Zdroj: [15]*

### 2.2.3 Dokončení procesu výroby dílce Stator Blank 2 Milled

Proces výroby je zakončen závěrečnou soustružnickou operací na klasickém soustruhu, při které se v ručně upínaném sklíčidle do speciálně vyrobených čelistí upravených tak, že zcela obepínají obvod kotouče  $\varnothing 134,8 \pm 0,05$  mm, upínají díly vyrobené v předchozí operaci upichovanou stranou ven a provádí se odstranění ostré hrany a ořepů v otvoru  $\varnothing 55,5 \pm 0,1$  mm.

## 2.3 Vyhodnocení stávajícího postupu výroby dílce Stator Blank 2 Milled

Výše uvedeným způsobem byla odzkoušena výroba uvedeného dílce a ukázalo se, že největším problémem je úkon upichování, který je díky velké tloušťce stěny hodně hluboký. Prvotní zkouška a prvovýroba byla prováděna za použití standartních upichovacích nástrojů od Tungaloy. Protože by z důvodu charakteru dílu byl problém s odebráním hotových kusů po upíchnutí nahotovo uvedeným nástrojem Tungaloy, byla zvolena varianta tímto nástrojem pouze předpíchnout díl a konečné upíchnutí pak provést speciálním vnitřním upichovacím nástrojem vybroušeným z Radeca, na kterém pak po odpíchnutí zůstal hotový díl zavěšený. Vlastní upichování bylo prováděno s čelním odlehčením při upichování k zlepšení jakosti povrchu po upíchnutí nástrojem o šířce 4 mm, s řeznými podmínkami  $v = 150$  m/min,  $f_{ot} = 0,07$  mm, z přířezu se vyrábělo 7 ks hotových dílců.

Přídavek materiálu při tomto způsobu výroby byl 10,5 mm/kus. Bylo dosaženo strojního času operace na výrobu jednoho kusu 6 min.

Při procesu vyhodnocování této úvodní výroby se zjistilo, že nebylo opakovatelně zajištěno dodržování tolerance rovinnosti na povrchu upichovaného čela, dále nebylo daným způsobem výroby zaručeno dodržení požadované drsnosti, kde u více než poloviny vyrobených dílů vycházela tolerance rovinnosti i drsnosti čelní plochy na hranici předepsaných hodnot, ve většině případů se dosahovalo rovinnosti 0,08 – 0,11 mm a naměřená drsnost povrchu čela se pohybovala od Ra1,5 – Ra1,7. Se zákazníkem bylo sice dohodnuto spotřebování takto vyrobených dílů, ale pro další velkosériovou výrobu nebylo možné provádět výrobu takovýmto hraničním způsobem. Při uvedeném způsobu obrábění bylo dosaženo životnosti upichovacích nástrojů cca 300 ks vyrobených dílů na jednu vyměnitelnou břitovou destičku v ceně 256 Kč/kus při zmetkovitosti kolem 5 % s nutností 100 % vizuální kontroly čelní plochy a zvýšené četnosti měření drsnosti povrchu i rovinnosti čela dílce.

Také čas výroby byl oproti v kalkulaci předpokládanému podstatně vyšší a vyvstal i problém s odebíráním upíchnutých dílů, protože ty se po upíchnutí nahodile částečně poškozovaly tím, jak po úpichu ještě při rotaci dopadly na vnitřní upichovací nůž. Proto bylo potřeba dále se daným výrobním procesem zabývat s cílem doladění a optimalizace této výroby, aby se tato zefektivnila a také se snížila zmetkovitost.

## **2.4 Průběh procesu optimalizace postupu výroby dílce Stator Blank 2 Milled**

### **2.4.1 Jednotlivé podniknuté opatření a zkoušky**

V první řadě se začaly řešit kvalitativní nedostatky na dílci. Prvním z nich byla tolerance rovinnosti, která v některých ojedinělých případech přesahovala až o 0,08 mm předepsanou hodnotu 0,1 mm. Většina poznatků z výsledků úvodní výroby dílů Stator Blank 2 Milled a také zkušenosti z jiných podobných výrob tenkostěnných hliníkových výrobků vedly k podezření na vnitřní pnutí ve výchozím materiálu. Bylo provedeno několik zkoušek upichování tenkostěnných kotoučů z dodaných hotových přířezů a také z výřezů z tyčí z různých dodávek i stavu materiálů a také z různých částí tyčí. Touto zkouškou se potvrdil předpoklad o vlivu jednotlivých dávek materiálů. Protože nebylo možné trvale objednávat materiál ze jednoho zdroje a stejné tavby, muselo se přistoupit k eliminaci zbytkového

napětí v dodávaných přířezech. Ve spolupráci s kooperující firmou zabývající se tepelným zpracováním bylo odzkoušeno několik variant provedení dodatečného tepelného zpracování daných přířezů, ze kterých pak byly vyrobeny hotové díly Stator Blank 2 Milled a ty pak byly následně proměřeny. Jako nevhodnější tepelné zpracování bylo vyhodnoceno zahřátí na teplotu  $210 \pm 5$  °C, výdrž na této teplotě minimálně 2,5 hodiny a poté ochlazení volně na vzduchu. Tato varianta se opětovně odzkoušela na několika dalších přířezech, byla provedena opakovaná zkouška obrábění a vyhodnocení dosahovaných hodnot tolerance rovinnosti. Protože výsledky byly dobré, bylo rozhodnuto o začlenění operace tepelné stabilizace přířezů do technologického postupu výroby jako kooperační operaci, která byla zařazena za provedení prvních 2 výše uvedených soustružnických operací, tedy po zhotovení polotovaru – silnostěnné trubky s vnějším průměrem 136 mm, vnitřním průměrem 53 mm a délkou 120 mm.

Dalším kvalitativním problémem, který se ukázal při úvodních zkouškách výroby, byl problém s občasným poškozením upíchnutých dílců při odebírání na vnitřní upichovací nůž. Tenkostěnné hliníkové díly se po upíchnutí někdy poškozovaly tak, že po úpichu, ještě při rotaci, dopadly na vnitřní upichovací nůž z rychlořezné oceli a v závislosti na shodě okolností se poškozovaly převážně v místě otvoru  $\varnothing 55,5 \pm 0,1$  mm a přilehlých hran. Pro zabránění těmto poškozením byl upichovací nůž zkušebně oblepen měkkou polyetylenovou vrstvou a odzkoušen při upichovacím procesu. Výsledky se znatelně zlepšily, a tak byl takto upravený nůž nachystán do dalších zkoušek výroby dílu Stator Blank 2 Milled.

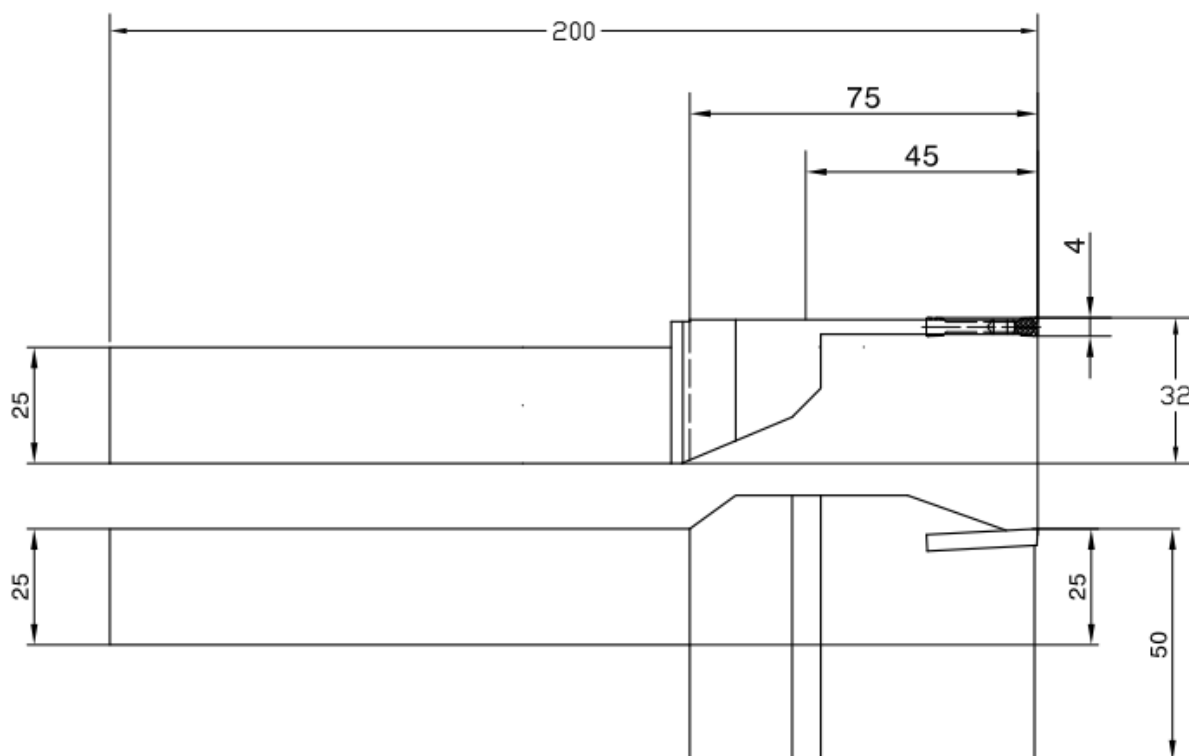
Posledním kvalitativním problémem zjištěným při úvodních zkouškách výroby byla opakovaně nezaručená drsnost čelní plochy po úpichu. Bylo provedeno několik technologických zkoušek k optimalizaci úkonu upichování s cílem stabilizace procesu a zaručení opakovatelného dosahování požadované drsnosti povrchu čela dílce. Po těchto zkouškách bylo konstatováno, že i přes zlepšení původních výsledků se nepodařilo dosáhnout požadované stabilizace upichovacího procesu a že tedy používaný upichovací nástroj není schopen tento požadavek zajistit.

Vzhledem k tomuto zjištění a také k dosažení příliš dlouhého strojního času výroby jednoho kusu bylo rozhodnuto o vytipování jiného vhodnějšího upichovacího nástroje a přepracování operace výroby dílce Stator Blank 2 Milled tak, aby se zlepšily dosahované kvalitativní nedostatky z původní výroby při zásadním zproduktivnění výroby. Proto bylo osloveno několik významných firem dodávajících nářadí renomovaných i méně známých výrobců

náhradí a také proběhly konzultace o zkušenostech z podobných výrob u partnerských firem zabývajících se obráběním charakterově a materiálově obdobných dílců. Po vyhodnocení obdržených nabídek vhodných nástrojů a získaných doporučeních bylo rozhodnuto o pořízení nových upichovacích držáků a břitových destiček od osvědčených spolupracujících renomovaných dodavatelských firem Walter, WNT a TMC a o odzkoušení jimi dodávaných nástrojů v následných technologických zkouškách výroby. Vybrané nástroje byly objednány, po jejich dodání byly provedeny úpravy řídicího programu stroje a poté bylo přistoupeno k dalším zkušebním výrobám dílu Stator Blank 2 Milled.

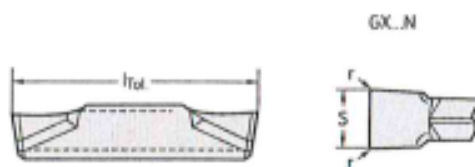
#### **2.4.2 Popis druhého způsobu výroby dílu Stator Blank 2 Milled**

Nejlepší reference a také největší naději na úspěch mělo nabídnuté nástrojové vybavení od firmy Walter. Šlo o speciální řešení držáku břitové destičky navržený pro hluboké upichování v kombinaci s opět speciální břitovou destičkou z polykrystalického diamantu, které bylo vyvinuto teprve nedávno pro podobnou aplikaci a u firmy Walter měli k dispozici ještě jeden vyrobený držák a 5 břitových destiček. Odzkoušení výroby s tímto upichovacím systémem proběhlo se stejným způsobem obrábění, jako v případě úvodní výroby nástrojem Tungaloy, tedy že tímto nástrojem byl dílec před dokončením pouze předpíchnut a závěrečné upíchnutí bylo provedeno měkkou polyetylenovou vrstvou oblepeným speciálním vnitřním upichovacím nástrojem vybroušeným z Radeca, na kterém zůstal hotový dílec zavěšený po odpíchnutí jen s tím rozdílem, že šířka destičky byla pouze 3 mm, což byl předpoklad k snížení řezného odporu a tím k eliminaci vznikajícího chvění, čehož mělo být využito k navyšování řezných parametrů a tím k zproduktivnění dané výroby při dosažení předepsaných tolerancí a drsnosti povrchu dílce. Vlastní upichování bylo opět prováděno s čelním odlehčením při upichování k dosažení lepší jakosti povrchu po upíchnutí. Postupným odladěním řezných podmínek došlo k navýšení řezné rychlosti na  $v = 300 \text{ m/min}$  a posuvu na  $f_{ot} = 0,1 \text{ mm}$ . Z přířezu se opět vyrábělo 7 ks dílů, bylo dosaženo takového výrazného opakovatelného zlepšení rozměrových parametrů dílců i drsnosti čelní plochy po úpichu, které odpovídalo předpokládanému cílenému stavu jakosti hotového dílu. Zmetkovitost této výroby byla kolem 1 %, což byl velmi dobrý výsledek. Bylo dosaženo i výrazného snížení strojního času operace na 3,2 min/kus, což byl dobrý výsledek, ale ještě nedosahoval předpokládané hodnoty 2,2 min na kus. Bylo dosaženo životnosti upichovacích nástrojů cca 3000 kusů vyrobených dílů na jednu vyměnitelnou břitovou destičku.



**Obr. 2.15: Upichovací držák pro hluboké upichování D54PK 6364854, výrobce  
WALTER**

*Zdroj: [16]*



**Obr. 2.16: Vyměnitelná břitová destička Walter – GX24 3F400N020**

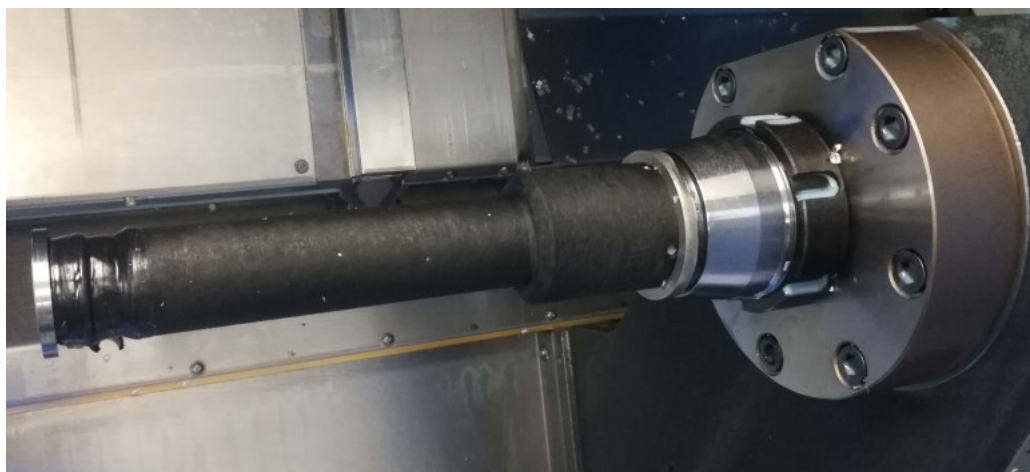
*Zdroj: [17]*

### 2.4.3 Popis třetího způsobu výroby dílu Stator Blank 2 Milled

Při výše uvedené zkoušce s upichovacími nástroji od firmy Walter se ukázalo znatelné zklidnění, a tedy stabilizace řezného procesu a dále také vhodnost použití vyšší koncentrace řezné kapaliny. Také se u několika kusů ukázaly problémy s odebíráním upíchnutých nástrojů na polyetylenovou vrstvou oblepeným radecovým upichovacím nástrojem, kdy díly byly mírně potlučené. Tyto skutečnosti vedly k návrhu další úpravy způsobu obrábění



a to takové, že díky výrazně zlepšených vlastností povrchů i rovinnosti čelní plochy po úpichu dosahované nářadím od firmy Walter bylo rozhodnuto o odzkoušení stejného nástrojového vybavení se změnou způsobu upichování a odebírání upíchnutých kusů. Přichystala se varianta výroby s přímým upichováním dílů nahotovo bez čelního odlehčení a bez dokončování úpichu vnitřním upichovacím nástrojem z Radeca s tím, že se upíchnuté kusy budou zachycovat na speciálním plastovém hrotu upnutém v koníku soustruhu. Na soustruhu byla také zvýšena koncentrace vodou ředitelné řezné kapaliny ze standardních cca 8 % na 12 %, která měla vést k zlepšení mazacích vlastností kapaliny a tím k usnadnění odchodu vznikajících třísek z místa řezu bez poškozování povrchu na čelech upíchávaných dílců. Cílem těchto úprav způsobu výroby bylo další výrazné snížení času výroby a také navýšení počtu kusů hotových dílů vyráběných z jednoho polotovaru a tím tedy úspora materiálu.



**Obr. 2.17: Fotografie odebíracího hrotu**

*Zdroj: [9]*

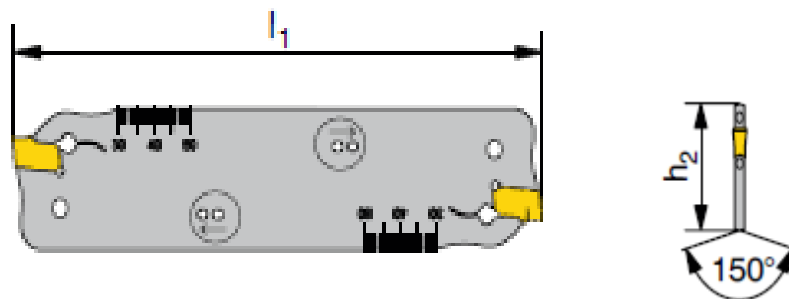
Po provedení nové přípravy výroby dle uvedeného způsobu výroby bylo přistoupeno k další zkušební výrobě. Při ní bylo dosaženo všech předpokládaných výsledků, drsnost povrchu se ukázala jako velmi stabilní a tak bylo možné vyrábět bez nutnosti 100 % vizuální kontroly čelní plochy a bez zvýšené četnosti měření drsnosti povrchu i rovinnosti čela dílce, dále bylo dosaženo zmenšení přídavek materiálu o 4 mm na jeden kus, z jednoho stejného polotovaru se začalo vyrábět více dílců a to 11 kusů z přířezu, bylo odzkoušeno a po dobrých zkušenostech i zavedeno odebírání kusů na speciální plastový hrot v koníku soustruhu. Jako optimální se ukázaly řezné podmínky stejné, jako v předchozím způsobu výroby, tedy  $v = 300 \text{ m/min}$  a  $f_{ot} = 0,1 \text{ mm}$ . Výsledný strojní čas operace se zkrátil na 1,5 min/ks a bylo dosaženo přibližně stejné životnosti upichovacích nástrojů jako

při druhém způsobu výroby, tedy cca 3000 kusů vyrobených hotových dílů na jednu vyměnitelnou břitovou destičku při zmetkovitost výroby opět kolem 1 %.

Při tomto třetím způsobu výroby dílu Stator Blank 2 Milled bylo tedy dosaženo téměř ideálního stavu, jediným nedostatkem byla cena a časová dostupnost požitých nástrojů. Protože se jedná o speciální nářadí vyráběné na zakázku, je dodací termín cca 8 týdnů od objednání a cena se pohybuje kolem 3100 Kč za jednu břitovou destičku.

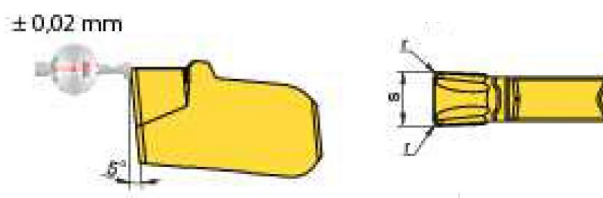
#### 2.4.4 Popis čtvrtého způsobu výroby dílu Stator Blank 2 Milled

Vzhledem k tomu, že dodací lhůta a ceny speciálního nářadí od firmy Walter odzkoušené při druhém a třetím způsobu výroby jsou výrazně vyšší, než by bylo v případě jejich sériové výroby, bylo dále přistoupeno k dalším zkouškám vhodného standardního nářadí od konkurenčních firem, které dodávají obdobné nástrojové vybavení z běžné výroby. Jako jedna z možností byly dále vyzkoušeny nástroje od dodavatelské firmy WNT. Byl vytipován a zakoupen nový typ upichovací planžety s označením XLCFN 3204-SX4 s vnitřním chlazením, které mělo pomoci při tvorbě třísky a jejím odstraňování z místa řezu a k této planžetě příslušné vyměnitelné břitové destičky SX E4.00 N 0.40-ALP CWK26 z leštěného tvrdokovu.



**Obr. 2.18: Upichovací planžeta s vnitřním chlazením XLCFN 3204-SX4, dodavatel WNT**

*Zdroj: [18]*



**Obr. 2.19: Vyměnitelná břitová destička WNT – SX E4.00 N 0.40-ALP CWK26**

*Zdroj: [19]*

Jako výchozí parametry pro zkušební výrobu těmito nástroji byly nastaveny podmínky odzkoušené při výrobě s nástroji Walter. Při těchto podmínkách nebyla výroba dobrá, a tak se postupně optimalizovaly, ale nedošlo k výraznému zlepšení. I když bylo použito chlazení vnitřkem nástroje přímo do místa řezu, přesto tato varianta nevyhovovala z důvodu většího procenta zmetků na rovinnost a opracování dílu z důvodu horší tvorby třísky a méně plynulého odchodu třísky z místa řezu. Třísky se v místě řezu hromadily, poškozovaly povrch a zhoršovaly rovinnost, až 30 % dílů mělo rovinnost zásadně vyšší než předepsanou (až do 0,2 mm oproti požadované 0,1 mm) a také podobné procento dílů mělo horší než povolenou drsnost povrchu, a to až kolem Ra2 místo požadované Ra1,6. Tato varianta tedy nebyla úspěšná a bylo ustoupeno od dalších zkoušek výroby pomocí tohoto nástrojového vybavení.

#### **2.4.5 Popis páteho způsobu výroby dílu Stator Blank 2 Milled**

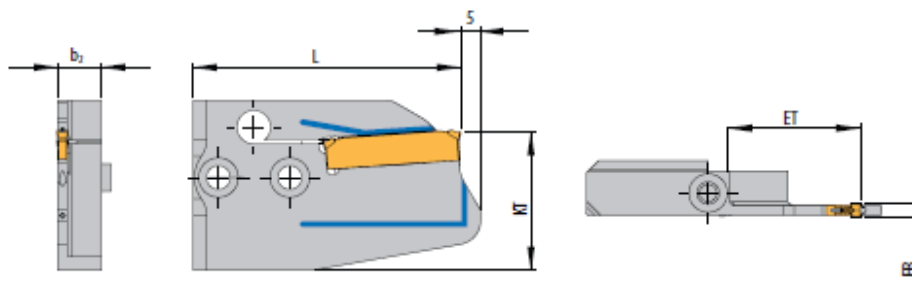
V období konání zkoušek obrábění dílů Stator Blank 2 Milled přišla nabídka od české firmy Bonar, a. s., Šumperk, která se zabývá především zakázkovou výrobou, ostřením a renovacemi monolitních vyměnitelných destiček z tvrdokovu a polykrystalického diamantu. Tato firma prezentovala, že je schopna vyrobit adekvátní nástroje k výrobkům ostatních dodavatelů nářadí s výrazně kratšími dodacími termíny za téměř poloviční cenu. Bylo tedy dohodnuto dodání vzorků vyměnitelných břitových destiček odpovídajících destičkám GX24-3F400N020 od firmy Walter. Takové destičky byly dodány a poté odzkoušeny při výrobě dílce Stator Blank 2 Milled. Avšak jejich funkce nebyla dobrá, nebyl na nich utvořen dobře fungující lamač třísek, jako u destičky od firmy Walter, což se projevilo při vlastním obrábění. Bylo nutno zásadně snižovat řezné podmínky, ale ani poté kusy ve výsledku nevyhovovaly na rovinnost a jakost opracování, oba tyto zásadní parametry byly o poznání horší než v předchozích případech, u cca 60 % dílů byla rovinnost v rozmezí 0,1 až 0,2 mm a dokonce až 80 % dílů mělo drsnost čela na Ra1,6, na některých dílcích bylo naměřeno až Ra3,5. A všech těchto špatných výsledků bylo navíc

dosaženo při delším výrobním čase operace cca 3 min/kus. Tyto VBD vůbec nevyhovovaly požadavkům na danou výrobu a také bylo následně upuštěno od jejich dalších zkoušek.

#### 2.4.6 Popis šestého způsobu výroby dílu Stator Blank 2 Milled

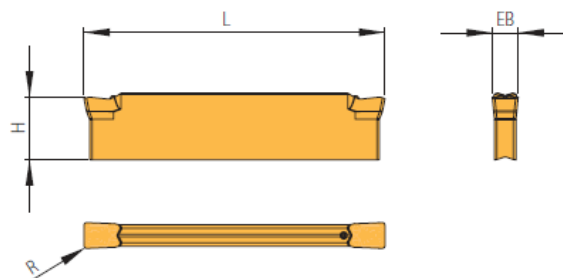
Jako k poslední zkoušce výroby bylo rozhodnuto o provedení zkušební výroby pomocí nástrojů dodávaných firmou TMC ČR, která na českém trhu zastupuje firmu Arno. Na základě nabídky a doporučení nástrojového vybavení pro daný výrobek a uvažovaný způsob výroby byl nabídnut držák a vyměnitelná břitová destička z polykrystalického diamantu. Toto nářadí mělo mít na rozdíl od obdobných a při výše uvedené výrobě dobře osvědčenými nástroji od firmy Walter tu výhodu, že se jednalo o sériově vyráběné diamantové břitové destičky, které by tedy byly cenově levnější a také termínově výrazně rychleji dostupnější. Při prověřování detailů nástrojů se však ukázalo, že dané nástroje by se musely ještě před použitím upravovat, protože v dodávaném stavu nezabezpečovaly tak hluboký úpich při daných rozměrech dílce, a tak bylo od použití tohoto nářadí upuštěno.

Po dalším projednání možností bylo přistoupeno k pořízení a odzkoušení držákového modulu s vnitřním chlazením MSA-SR-SA3503-105-ACS2 a lapované vyměnitelné břitové destičky o šířce 3 mm s použitím pro hliník a jeho slitiny s označením SA35-3003N-ALU AN1015.



**Obr. 2.20: Upichovací modul MSA-SR-SA3503-105-ACS2, dodavatel TMC ČR**

*Zdroj: [20]*



**Obr. 2.21: Vyměnitelná břitová destička ARNO – SA35-3003N-ALU AN1015**

*Zdroj: [11]*

Po dodání bylo toto nářadí odzkoušeno ve zkušební výrobě, kde byl použit obdobný způsob výroby, jako v případě nástrojů Walter. Pro zahájení výroby byly použity shodné řezné podmínky s uvedenou výrobou, ale výsledky nebyly dobré ani po následných optimalizačních zásazích do řezných podmínek, výsledky řádově odpovídaly stavu dosaženému při čtvrtém zkoušeném způsobu výroby s nástroji od firmy WNT, tedy velký, více než 50% podíl zmetkových kusů z důvodu nedodržení požadovaných tolerancí rovinnosti a drsnosti čelní ploch při navýšení času výroby dané operace na cca 3 min/kus. Tato varianta tedy také nebyla úspěšná a bylo ustoupeno od jejích dalších zkoušek.

### 3 Vyhodnocení provedených zkoušek výroby dílu Stator Blank

#### 2 Milled

Po provedení všech výše uvedených zkoušek se jako nejvhodnější ukázala výroba dle třetího zkoušeného způsobu výroby za pomoci speciálního držáku a diamantových vyměnitelných břitových destiček od firmy Walter

Zde je uveden optimalizovaný technologický postup

**Tab. 3.1: Optimalizovaný technologický postup výroby statorového kola**

TECHNOLOGICKÝ POSTUP (optimalizovaný)							Listů	List
							1	1
Sestava			č. sestavy		č. v. BRI0022-02			
Výrobek Statorové kolo					Série		K/výr	Počet kusů
								1
Pos.	ks	Hmotnost	Rozměry polotovaru	Jakost materiálu	ČSN	Kč		
	1	3,92 Kg	Ø140-122	EN AW 2014	421401			

*Zdroj: [5]*

**Tab. 3.2: Rámcový Optimalizovaný technologický postup výroby statorového kola**

Č.o.	Pracoviště, popis práce	Celkový čas [min]	
		TBC	TAC
010	<b>Práce při přemísťování zboží</b> Vychystat materiál Ø 140, AW-2014T6511 délka 122 materiál je polotovarem pro 11 ks	0,0	0,0
020	<b>Soustruh HAAS</b> Soustružit součást dle programu č. 09001 zarovnat čelo na celkovou délku 121 soustružit Ø 136 v dl. 20 mm soustružit otvor Ø 53 do půlky. srazit ostří  Polotovar pro 11 ks	60,00	0,30

030	<p><b>Soustruh HAAS</b></p> <p>Soustružit součást dle programu č. 09002 upnout do vytočených čelistí za Ø 136 zarovnat čelo na celkovou délku 120 mm soustružit Ø 136 v délce 100 (po čelisti) soustružit otvor Ø 53 do půlky srazit ostří</p> <p>Polotovar pro 11 ks</p>	60,00	0,32
040	<p><b>K- doprava</b></p> <p>doprava na tepelné zpracování Česká zbrojovka</p>	0,0	0,0
050	<p><b>Kooperace – tepelné zpracování stabilizace</b></p> <p>Provést tepelné zpracování: Zahřát na teplotu 210+ 5°, výdrž na teplotě minimálně 2,5 hodiny. chládnout na vzduchu</p>	0,00	0,00
060	<p><b>Kontrola dle kontrolního plánu</b></p>	0,00	0,00
070	<p><b>Soustruh Gildemeister CTX 800</b></p> <p>Soustružit součást dle programu č.10610-s odebráním na hrot upnout do vytočených čelistí za vnější průměr délce 15-20 mm soustružit hotově – 11 ks z polotovaru</p> <p>POZOR kapalina musí mít vyšší hustotu cca 10–12 %!!! (obrábí se diamantovým nástrojem od Walteru) U diamantu nastavit alespoň 3 hadičky pro dostatečné chlazení místa řezu.</p> <p>Pozn: otvor Ø 55,5 ±0,1 zhotovit v toleranci Ø 55,5 ±0,05</p>	90,00	1,50
080	<p><b>Soustruh hrotový univerzální</b></p> <p>Upnout do navařených čelistí vytočených po celém obvodu za vnější průměr srazit ostří v otvoru</p>	30,00	0,80
090	<p><b>Kontrola koneč. dle NH 3502-33</b></p> <p>Vizuální kontrola čistoty kusu, vad opracování a správnosti balení.</p> <p>Díl musí být čistý a bez jakéhokoliv poškození!</p>	0,0	0,0

Zdroj: [5]

Programovací list č. 10610 je uveden v příloze J

**Kontrolní plán**

List1

Prototyp ☐ Předserie ☐ Série ☒ Proces ☐

MESIT machining s.r.o.

## KONTROLNÍ PLÁN

Kontrolní plán č. <b>B83000022/A</b>		Vydání 1	Vydal/podpis/kontakt Uhříček		
Číslo dílu/Proces <b>B83000022/A</b>		Změna č. 0	Tým Uhříček, Kaplan, Ing. Daňhel		
Název dílu <b>MILLED STATOR BLANK</b>		Datum vydání 6.3.2018	Schváleno ÚJ 6.3.2018		
Číslo operace	Rozměr	Měřidlo	Perioda měření	Měření provádí	Pozn.
všechny Pracoviště díl. kontroly	Kontrola 1.kusu , všechny roz.v dané operaci, viz níže	příslušící k danému roz- měru a operaci, viz.níže	1.díl seřízení, 1.díl směny	Kontrola ÚJ	Záznam o provedení do T.P. I
<b>U VŠECH OPERACÍ JE ZJIŠTĚNÝ NESHODNÝ DÍL OZNAČEN A ULOŽEN ODDĚLENĚ NA URČENÉ MÍSTO A JE PROVEDENA KOREKCE ROZMĚRU !</b>					
10 Vychystat	φ 140 , 122 + 1 AW 2014T6511	Posuvka 300	každý 10.díl	obsluha	
20 HAAS SL 30	121 ± 0,3 φ 136 ± 0,3 20 ± 0,2 φ 53 ± 0,3 60,5 + 0,3	Posuvka dig. 150	každý 10.díl		tech.rozm. tech.rozm. tech.rozm. tech.rozm.
30 HAAS SL 30	120 ± 0,3 φ 136 ± 0,3 100 + 0,3 φ 53 ± 0,3 60,5 + 0,3	Posuvka dig. 150	každý 10.díl	obsluha	tech.rozm. tech.rozm. tech.rozm. tech.rozm.
40 HAAS SL 30	φ 135 ± 0,05 φ 55 ± 0,05	Mikrometr 125 - 150 Posuvka dig. 150	každý 10.díl každý 10.díl	obsluha obsluha	tech.rozm.
	2 ± 0,05 0,1 max. Ra 1,6 max.	Úchylkoměr dig. 0 - 50 Drsnoměr Mitutoyo SurfTest SJ-301	každý 10.díl každý 20.díl		
		<b><u>Nepoškodit díly !!!</u></b> <b><u>Čištění dle pokynů v tech. postupu !!</u></b>		obsluha + ÚJ	
50 Soustruh univ. S	oehlení otvoru	vizuální kontrola <b><u>nepoškozené díly !!!</u></b> <b><u>Čištění dle pokynů v tech. postupu !!</u></b>	každý díl	obsluha	
60 konečná kontrola	Konečná kontrola vizuální	čistota dílů , nepoškozené díly , osvědčení o jakosti , kompletnost a správnost balení		ÚJ	doprovodné dokumenty !!
			č. B83000022/A	Změna :	0

Stránka 1

**Obr. 3.1: Kontrolní plán optimalizovaný**

Zdroj: [5]



## 4 Technicko-ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení

Zhodnocení výhodnosti nového řešení výroby statorového kola je provedeno na základě vyčíslení rozdílů v nákladech na výrobu oběma způsoby a jejich vzájemným porovnáním. Náklady na tuto výrobu byly převzaty z firemních podkladů a propočtů v informačním systému TPV2000 pro typickou výrobní dávku daného výrobku 500 ks dle specifického vnitrofiremního kalkulačního vzorce.

Z uvedených propočtů vyplývá následující:

### Výroba stávajícím způsobem

- spotřeba výrobního času v celkem 5 výrobních operacích prováděných na různých pracovištích s různými strojními sazbami – 7,62 min/ks;
- cena materiálu pro 1 kus – 85,79 Kč/ks;
- vlastní náklady na tuto výrobu – 151,54 Kč/ks;
- správní náklady – 6,48 Kč/ks;
- úplné vlastní náklady (ÚVN) – 158,02 Kč/ks.

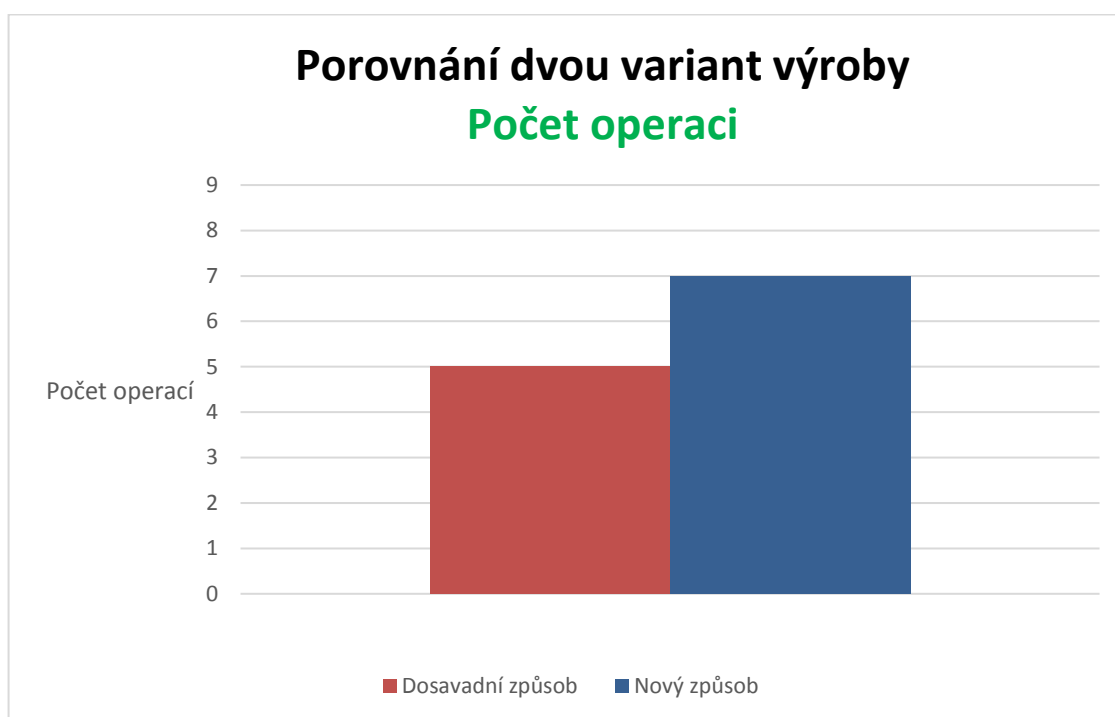
### Výroba novým(optimalizovaným) způsobem

- spotřeba výrobního času v celkem 7 výrobních operacích opět prováděných na různých pracovištích s různými strojními sazbami – 2,92 min/ks;
- cena materiálu pro 1 kus – 59,51 Kč/ks;
- vlastní náklady na tuto výrobu – 94,62 Kč/ks;
- správní náklady – 2,57 Kč/ks;
- úplné vlastní náklady (ÚVN) – 97,18 Kč/ks.

**Tab. 4.1: Porovnání obou variant výroby**

	Původní způsob	Nový způsob	Úspora novým způsobem
<b>Počet operací</b>	5	7	<b>-2</b>
<b>Spotřeba času</b>	7,62 min	2,92 min	<b>4,7 min</b>
<b>Cena materiálu</b>	85,79 Kč/ks	59,51 Kč/ks	<b>26,28 Kč/ks</b>
<b>ÚVN/ks</b>	158,02 Kč/ks	97,18 Kč/ks	<b>60,84 Kč/ks</b>
<b>ÚVN/dávka 500 ks</b>	79 010 Kč	48 590 Kč	<b>30 420 Kč</b>
<b>Cena mat./rok</b>	857 900 Kč	595 100 Kč	<b>262 800 Kč</b>
<b>Cena nástrojů/ rok</b>	8 334 Kč	10 334 Kč	<b>-2000 Kč</b>
<b>ÚVN(Kč)/zmetky za rok</b>	79 010 Kč	9 718 Kč	<b>69 292 Kč</b>

Zdroj: [5]

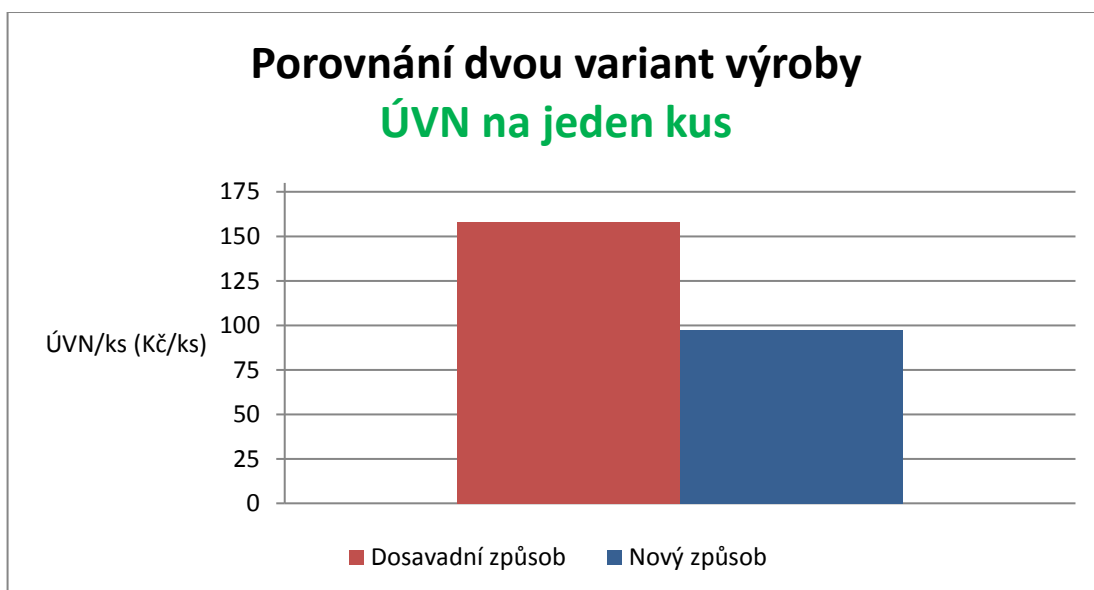
**Obr. 4.1: Porovnání dvou variant výroby**

Zdroj: [5]



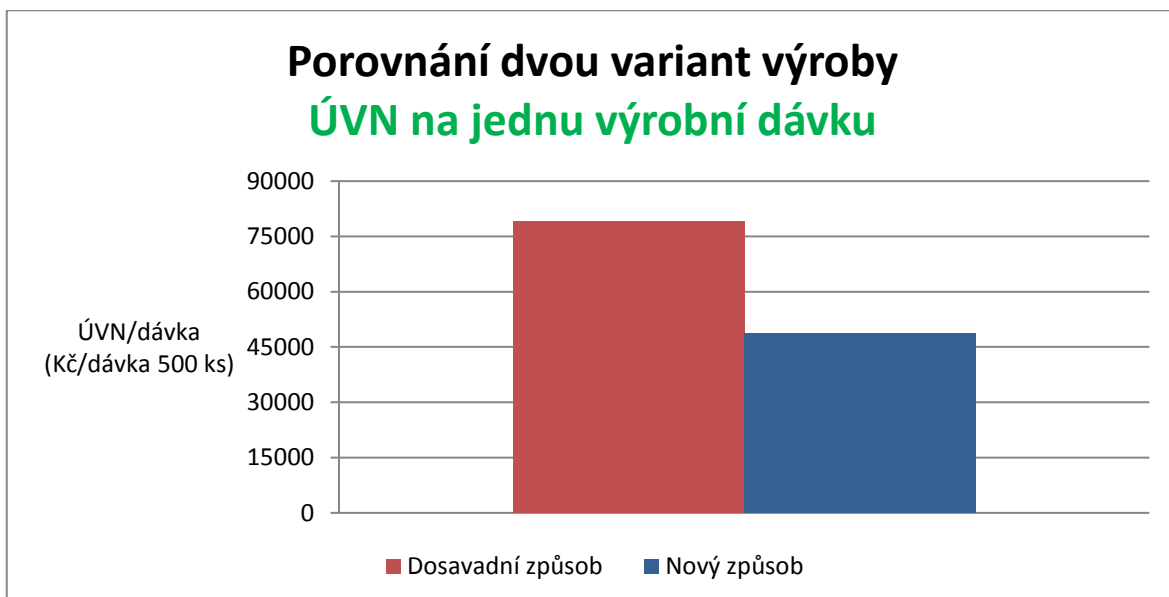
Obr. 4.2: Spotřeba času na kus

#### 4.1 Závěr vyplývající z technicko-ekonomického zhodnocení navrhovaného řešení



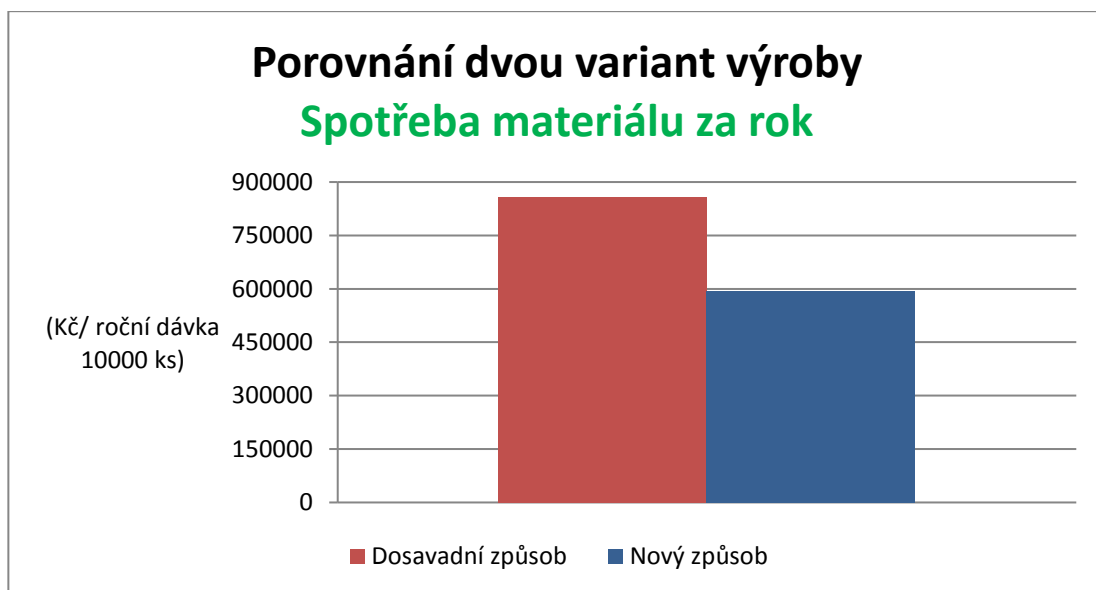
Obr. 4.3: ÚVN na jeden kus

Zdroj: [5]



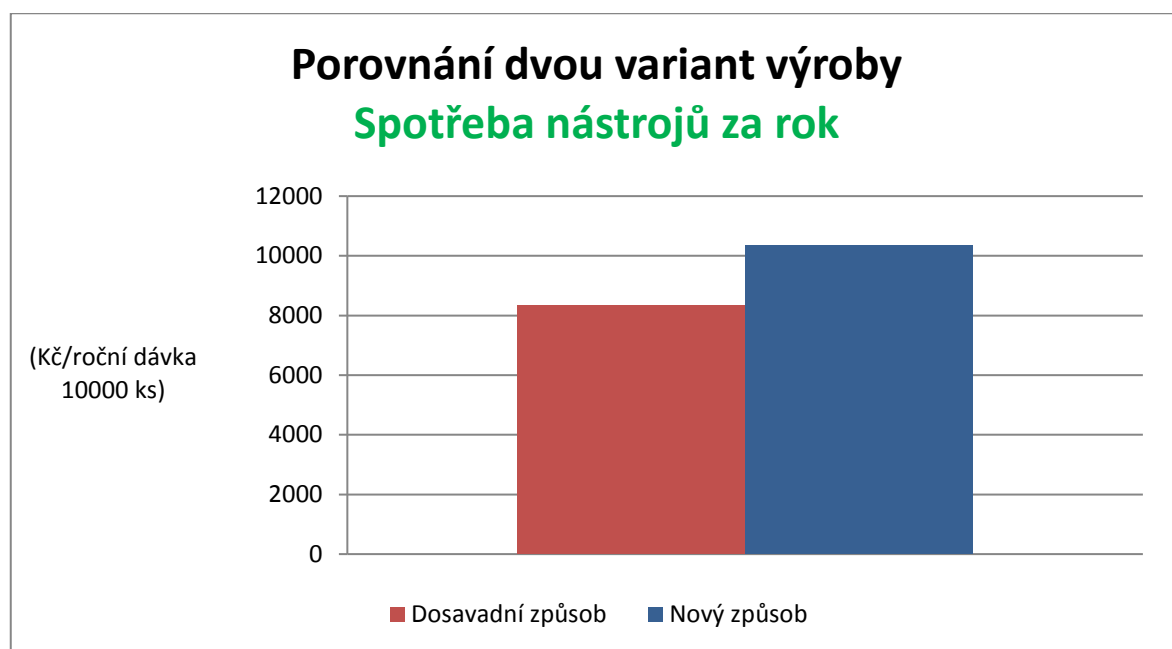
Obr. 4.4: ÚVN na jednu výrobní dávku

Zdroj: [5]



Obr. 4.5: Spotřeba materiálu na jednu výrobní dávku

Zdroj: [5]



Obr. 4.6: Spotřeba nástrojů na výrobní dávku

Zdroj: [5]



Obr. 4.7: Vyhodnocení rozdílu zmetkovitosti

Zdroj: [5]

## 5 Závěr diplomové práce

Po všech výše zmíněných zkouškách provedených za účelem optimalizace výroby dílu Stator Blank 2 Milled byl jako nejvhodnější varianta výroby shledán způsob výroby dle třetí zkoušené alternativy s využitím speciálního držáku a diamantových břitových destiček od firmy Walter s přímým upichováním dílů hotově bez čelního odlehčení se zachytáváním upíchnutých kusů na speciálním plastovém hrotu upnutém v koníku soustruhu. Při tomto způsobu výroby bylo dosaženo dokonce lepšího času výroby, než byl původně při kalkulaci uvažovaný, při zmetkovitosti do 1 % stanovené jako jeden z požadovaných parametrů bez nutnosti 100 % vizuální kontroly čelní plochy a zvýšené četnosti měření drsnosti povrchu i rovinnosti čela dílce, dále také došlo k navýšení počtu vyráběných kusů hotových dílů z jednoho polotovaru a tím tedy k úspoře materiálu. Jediným zjištěným nedostatkem tohoto způsobu výroby je poněkud vyšší cena břitových destiček a jejich horší časová dostupnost, což jsou však negativa pouze méně podstatné s ohledem na hodně vysokou životnost náradí a možnost jejich objednání s časovým předstihem. Výrazný ekonomický přínos této provedené optimalizace výroby je zřejmý z výsledného ekonomického hodnocení.

## **Poděkování**

Děkuji tímto doc. Ing. Marku Pagáčovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování této diplomové práce.

Děkuji také společnosti MESIT machining, s.r.o. za umožnění vypracování diplomové práce. Ing. Pavlu Daňhelovi a jeho týmu za cenné připomínky a rady při vypracování klíčových částí diplomové práce.

## Seznam použité literatury

- [1] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [2] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení*. 2., opr. vyd. Brno: Computer Press, 2007. Učebnice (Computer Press). ISBN 978-80-251-1887-0.
- [3] *Encyklopedie hliníku* [CD-ROM]. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
- [4] *Pegas-gonda s.r.o: Pásová pila 350x400 A-CNC-LR* [online]. [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: [http://www.pegas-gonda.cz/cz/pily/pasova-pila-na-kov-pegas\\_114.htm](http://www.pegas-gonda.cz/cz/pily/pasova-pila-na-kov-pegas_114.htm)
- [5] *MESIT machining, s.r.o: Firemní literatura* [online]. [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.mesitmachining.cz/cs>
- [6] *Tabulka slitin* [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <Http://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin> [online]. [cit. 2018-04-05].
- [7] *Mechanické vlastnosti kruhové tyče lisované* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: *Mechanické vlastnosti kruhové tyče lisované*. Alumeco [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://www.alumeco.cz/technick%C3%A9-informace/mechanick%C3%A9-vlastnosti/kruhov%C3%A9-ty%C4%8De-lisovan%C3%A9>
- [8] *Označování hliníku* [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: [http://www.raketaci.cz/media/kunena/attachments/43/oznacovani\\_hliniku.pdf](http://www.raketaci.cz/media/kunena/attachments/43/oznacovani_hliniku.pdf)
- [9] *CTX 800 – CNC soustruh* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://en.dmgmori.com/products/machines/turning/universal-turning/ctx/ctx-beta-800>
- [10] *Haas SL-30 – CNC soustruh* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: [https://int.haascnc.com/mt\\_spec1.asp?intLanguageCode=1029&id=ST-30Y&webID=YAXIS\\_LATHE](https://int.haascnc.com/mt_spec1.asp?intLanguageCode=1029&id=ST-30Y&webID=YAXIS_LATHE)
- [11] *ARNO-nástroje na obrábění* [online]. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://www.tmccr.cz/cs/nastroje/arno-nastroje-pro-obrabeni/>



- [12] *Vrták Sandvik CoroDrill 880* [online]. [cit. 2018-04-22]. Dostupné z:  
[https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corodrill\\_880/Pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corodrill_880/Pages/default.aspx)
- [13] *Upichovací planžeta Tungaloy* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z:  
<http://www.imc-companies.com/Tungaloy/TungaloyCatalog/Family.aspx?fnum=116&mapp=TG&app=52&GFSTYP=M>
- [14] *Vyměnitelná břitová destička Tungaloy* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z:  
<http://www.imc-companies.com/Tungaloy/TungaloyCatalog/Family.aspx?fnum=116&mapp=TG&app=52&GFSTYP=M>
- [15] *Vnitřní radecový nástroj* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z:  
<https://www.hhw.cz/cz/Shop/Soustru%C5%BEnick%C3%A9%20n%C3%A1stroje/Soustru%C5%BEnick%C3%A9%20no%C5%BEE>
- [16] *Upichovací držák WALTER* [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z:  
[https://www.walter-tools.com/cs-cz/tools/standard\\_products/Turning/overview/grooving/parting\\_off\\_g1042/Pages/default.aspx](https://www.walter-tools.com/cs-cz/tools/standard_products/Turning/overview/grooving/parting_off_g1042/Pages/default.aspx)
- [17] *Vyměnitelná břitová destička WALTER* [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z:  
<https://www.walter-tools.com/cs-cz/search/pages/default.aspx#/turning/grooving/cutting-inserts/double-edged-cutting-inserts-gx/000197/GX24-3F400N02-CF5%20WSM33S>
- [18] *Upichovací planžeta s vnitřním chlazením* [online]. [cit. 2018-02-26]. Dostupné z:  
<https://www.wnt.com/mastertool/CS/product/New/DirectCooling%20DC-SX/Radi%C3%A1ln%C3%AD%20plan%C5%BEta%20DC-SX%20standard/XLCFN%203204-DC-SX4%20ZAPICHOVAC%C3%8D%20PLAN%C5%BETA%2070884604>
- [19] *Vyměnitelná břitová destička WNT* [online]. [cit. 2018-03-09]. Dostupné z:  
<https://www.wnt.com/cz/produkty.html?q=%20sx%20e4.00%20n%200.40%20alp%20cw26>

- [20] *Upichovací modul* [online]. [cit. 2018-03-14]. Dostupné z:  
<http://www.tmccr.cz/cs/nastroje/arno-nastroje-pro-obrabeni/zapichovani/>

## Seznam obrázků

Obr. 1.1: Rozdělení třísek podle tvaru .....	10
Obr. 1.2: Sestava vakuová vývěva .....	14
Obr. 1.3: Statorové kolo .....	15
Obr. 1.4: Polotovar statorového kola .....	17
Obr. 1.5: HAAS SL 30 – univerzální CNC soustruh .....	20
Obr. 1.6: GILDEMEISTER CTX beta 800 – univerzální CNC soustruh .....	21
Obr. 2.1: Úvodní list původního technologického postupu výroby statorového kola .....	23
Obr. 2.2: Kontrolní plán původní .....	25
Obr. 2.3: Náskres polotovaru statorového kola po prvních 2 operacích .....	27
Obr. 2.4: Nástrojový držák se šroubovým upínáním destičky SWLC, výrobce Arno .....	27
Obr. 2.5: Vyměnitelná břitová destička Arno R0,4 trigon .....	28
Obr. 2.6: Vrták Sandvik $\varnothing$ 50 mm s VBD a středovým chlazením .....	28
Obr. 2.7: Nástrojový držák se šroubovým upínáním destičky S SCLC, výrobce Arno .....	28
Obr. 2.8: Vyměnitelná břitová destička Arno – CCGT 120404FN ACB AK20 .....	29
Obr. 2.9: Náskres dílce Stator Blank 2 Milled .....	30
Obr. 2.10: Nástrojový držák se šroubovým upínáním destičky SWLC, výrobce Arno .....	30
Obr. 2.11: Vyměnitelná břitová destička Arno R0,4 .....	31
Obr. 2.12: Upichovací planžeta pro hluboké upichování CGP32 4D, výrobce Tungaloy ..	31
Obr. 2.13: Vyměnitelná břitová destička Tungaloy – SGS4 030 AH725 .....	31
Obr. 2.14: Vnitřní radecový nástroj pro konečné upíchnutí a zachycení upíchnutého dílu	32
Obr. 2.15: Upichovací držák pro hluboké upichování D54PK 6364854 .....	36
Obr. 2.16: Vyměnitelná břitová destička Walter – GX24 3F400N020 .....	36
Obr. 2.17: Fotografie odebíracího hrotu .....	37
Obr. 2.18: Upichovací planžeta s vnitřním chlazením XLCFN 3204-SX4, .....	38
Obr. 2.19: Vyměnitelná břitová destička WNT – SX E4.00 N 0.40-ALP CWK26 .....	39
Obr. 2.20: Upichovací modul MSA-SR-SA3503-105-ACS2, dodavatel TMC ČR .....	40
Obr. 2.21: Vyměnitelná břitová destička ARNO – SA35-3003N-ALU AN1015 .....	41
Obr. 3.1: Kontrolní plán optimalizovaný .....	44
Obr. 4.1: Porovnání dvou variant výroby .....	46
Obr. 4.2: Spotřeba času na kus .....	47
Obr. 4.3: ÚVN na jeden kus .....	47
Obr. 4.4: ÚVN na jednu výrobní dávku .....	48
Obr. 4.5: Spotřeba materiálu na jednu výrobní dávku .....	48

Obr. 4.6: Spotřeba nástrojů na výrobní dávku .....	49
Obr. 4.7: Vyhodnocení rozdílu zmetkovitosti .....	49

## Seznam tabulek

Tab. 1.1: Kontrola při obrábění ploch vnějších .....	12
Tab. 1.2: Kontrola při řezání závitů .....	13
Tab. 1.3: Vlastnosti a chemické složení EN AW 2014 T.6511 .....	16
Tab. 1.4: Výpis CNC strojního vybavení společnosti .....	18
Tab. 2.1: Rámcový výpis z úvodního technologického postupu výroby statorového kola .	24
Tab. 3.1: Optimalizovaný technologický postup výroby statorového kola .....	42
Tab. 3.2: Rámcový Optimalizovaný technologický postup výroby statorového kola .....	42
Tab. 4.1: Porovnání obou variant výroby .....	46

## Seznam příloh

- Příloha A Výkres polotovaru (č. v. BRI0022-01)
- Příloha B Výkres statorového kola (č. v. BRI0022-02)
- Příloha C Programovací list č. 09001 (elektronická podoba)
- Příloha D Programovací list č. 09002 (elektronická podoba)
- Příloha E Programovací list č. 09003 (elektronická podoba)
- Příloha F Programovací list č. 10610 (elektronická podoba)
- Příloha G CD obsahující:
- Diplomová práce ve formátu.pdf
  - 3D modely ve formátu. stp
  - Výkresy ve formátu. pdf